



# Personenfluss im Busverkehr Optimale Gestaltung von Fahrzeugen zur Verbesserung der Fahrgastwechselzeiten

Marco Binswanger

Masterarbeit  
Studiengang Bauingenieurwissenschaften

**IVT** Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme  
Institute for Transport Planning and Systems

Juli 2017

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich





## Dank

Ich bedanke mich bei Professor Ulrich Weidmann sowie meinen Betreuern Ernst Bosina und Mark Meeder für die Kontaktaufnahme mit Stadtbus Winterthur und die fachliche Betreuung während der gesamten Arbeit. Ich habe von allen Parteien immer wieder nützliche Inputs zu meiner Arbeit erhalten.

Weiter bedanke ich mich bei Stadtbus Winterthur für die gute Zusammenarbeit, die Unterstützung und die zur Verfügung gestellten Daten. Hervorzuheben sind Ernst Nef, Mario Müller und Daniel Ryavec. Ernst Nef war meine Ansprechperson bei allgemeinen Fragen und gab mir nützliche Rückmeldungen zur Arbeit. Herr Müller und Herr Ryavec unterstützten mich bei der Aufbereitung der Daten und halfen bei Unklarheiten weiter.

Auch Herr Hüssner von Dilax danke ich für die Aufbereitung der Fahrgastwechselzeit und die Unterstützung während der Auswertung.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Ausgangslage	3
1.2	Zielsetzung	3
<b>2</b>	<b>Vorgehen und Methodik</b>	<b>5</b>
2.1	Vorgehen	5
2.2	Methodik	7
2.2.1	Literaturrecherche	7
2.2.2	Automatisches Fahrgastzählsystem	7
2.2.3	Haltezeiten der Leitstelle	7
2.2.4	Videoauswertungen	7
2.2.5	Beobachtungen vor Ort	7
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>8</b>
3.1	Literaturstudie zum Fahrgastwechsel	8
3.1.1	Mathematische Ansätze zur Bestimmung von Fahrgastwechselzeiten	8
3.1.2	Einflussfaktoren auf den Fahrgastwechsel	13
3.1.3	Relevante Erkenntnisse aus weiterführenden Studien	14
3.2	Einflussfaktoren bei Personenflüssen	17
3.2.1	Fahrgast	18
3.2.2	Fahrzeuglayout	19
3.2.3	Haltestellendesign	22
3.3	Lücken und Erkenntnisse	24
<b>4</b>	<b>Stadtbus Winterthur</b>	<b>26</b>
4.1	Allgemein	26
4.2	Fahrzeuge	26
4.2.1	MAN Lion's City	28
4.2.2	Solaris Urbino 18	30
4.2.3	Solaris Trollino 18	32
4.2.4	Hess Swisstrolley 3	33
4.2.5	Erkenntnisse	34
4.3	Haltestellen	35
<b>5</b>	<b>Untersuchung</b>	<b>37</b>
5.1	Berücksichtigte Einflussfaktoren	37
5.2	Fahrgastwechselzeit	38
5.3	Vertiefung Fahrzeuglayout und -auslastung	38
5.4	Vertiefung Haltestellendesign	39

<b>5.5 Erhebungskonzept .....</b>	<b>39</b>
5.5.1 Fahrgastwechselzeit .....	40
5.5.2 Vertiefung Fahrzeuglayout und -auslastung .....	46
5.5.3 Vertiefung Haltestellendesign .....	48
<b>5.6 Auswertungskonzept .....</b>	<b>49</b>
5.6.1 Fahrgastwechselzeit .....	49
5.6.2 Vertiefung Fahrzeuglayout und -auslastung .....	50
5.6.3 Vertiefung Haltestellendesign .....	51
<b>6 Auswertung .....</b>	<b>52</b>
<b>6.1 Fahrgastwechselzeit .....</b>	<b>52</b>
6.1.1 Abschätzung der Fahrgastwechselzeit mit Literaturansätzen .....	52
6.1.2 Automatisches Fahrgastzählsystem: Haltezeit .....	56
6.1.3 Aufgezeichnete Haltezeiten der Leitstelle .....	62
6.1.4 Automatisches Fahrgastzählsystem: Fahrgastwechselzeit .....	64
6.1.5 Beobachtungen vor Ort .....	80
6.1.6 Fazit .....	84
<b>6.2 Fahrzeuglayout und -auslastung .....</b>	<b>85</b>
6.2.1 Untersuchung des Gelenks .....	86
6.2.2 Auswertung der Videoaufnahmen .....	94
6.2.3 Fazit .....	104
<b>6.3 Haltestellendesign .....</b>	<b>105</b>
6.3.1 Resultate .....	105
6.3.2 Erkenntnisse .....	109
<b>7 Allgemeine Erkenntnisse und Empfehlungen .....</b>	<b>111</b>
7.1 Allgemeine Erkenntnisse .....	111
7.2 Empfehlungen .....	112
<b>8 Fazit .....</b>	<b>114</b>
<b>9 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>115</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>separat</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf den Fahrgastwechsel .....	13
Tabelle 2: Fahrgastwechselzeit in Abhängigkeit der Türbreite und Einstiegshöhe.....	15
Tabelle 3: Einflussfaktoren des Fahrzeuglayouts .....	19
Tabelle 4: Einflussfaktoren des Haltestellendesigns.....	23
Tabelle 5: Wichtigste Eigenschaften der Gelenkbusse von Stadtbus Winterthur .....	27
Tabelle 6: Bezeichnung der unterschiedlichen Solaris Urbino Modelle für die Arbeit...	31
Tabelle 7: Untersuchte Haltestellen in dieser Arbeit .....	35
Tabelle 8: Durchgeführte Schritte bei der Datenaufbereitung der Haltezeit .....	42
Tabelle 9: Durchgeführte Schritte bei der Datenaufbereitung der Fahrgastwechselzeit .....	44
Tabelle 10: Annahmen für die Abschätzung der Fahrgastwechselzeit .....	52
Tabelle 11: Wichtigste Parameter für die Berechnungen .....	53
Tabelle 12: Wirkungsgrad des Türsystems.....	54
Tabelle 13: Fahrgastwechsel an der Einzeltüre.....	54
Tabelle 14: Fahrgastwechselzeit eines Kurses.....	55
Tabelle 15: Türöffnungs- und Türschliesszeiten der unterschiedlichen Bustypen (gemittelt) .....	59
Tabelle 16: Ausführung der Messsysteme von Dilax bei den Gelenkbussen .....	61
Tabelle 17: Vergleich der Haltezeiten der Leitstelle und aus dem AFAZ.....	63
Tabelle 18: Fahrgastwechselzeit und Anzahl Ein- und Aussteiger je Bustyp .....	66
Tabelle 19: Durchschnittliche Wechselzeit pro Person.....	67
Tabelle 20: Fahrgastwechselzeit pro Person je Bustyp und Anzahl Ein- und Aussteiger .....	73
Tabelle 21: Fahrzeugauslastung bei Stehplatzdichte von 2 P/m <sup>2</sup> .....	76



Tabelle 22: Einfluss der Fahrzeugauslastung auf die Fahrgastwechselzeit pro Person .....	77
Tabelle 23: Vergleich der Handmessungen mit den Haltezeiten aus dem AFAZ .....	81
Tabelle 24: Vergleich der Haltezeiten von der Leitstelle mit Handmessungen .....	82
Tabelle 25: Vergleich der gemessenen Haltezeiten mit den Fahrgastwechselzeiten aus dem AFAZ .....	83
Tabelle 26: Qualitätsbezogen anrechenbares Platzangebot für die Produktstufe D2 ..	86
Tabelle 27: Übersicht Datenerhebung .....	87
Tabelle 28: Personendichten im Gelenk .....	88
Tabelle 29: Vergleich der Personendichten innerhalb des Fahrzeuges auf der Strecke mit der höchsten Fahrzeugauslastung .....	90
Tabelle 30: Gemessene Türraumdichten vor und hinter dem Gelenk .....	93
Tabelle 31: Kennwerte zum Befüllungsgrad der Sitzplätze .....	96
Tabelle 32: Durchschnittliche Verteilung der stehenden Fahrgäste im Fahrzeug (pro Strecke) .....	100
Tabelle 33: Einsteigeverhalten der Fahrgäste .....	102
Tabelle 34: Fahrgastwechselzeit unter Betrachtung der Anzahl Ein- und Aussteiger	106

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Vorgehens .....	6
Abbildung 2: Teilvorgänge des Fahrgastwechsels und der Einfluss auf die Haltezeit....	9
Abbildung 3: Einfluss der Fussgängerdichte auf die Gehgeschwindigkeit.....	20
Abbildung 4: Innenraum einer Metro oder Bus .....	21
Abbildung 5: Einflussfaktoren auf die Personenflüsse .....	25
Abbildung 6: Die vier Gelenkbustypen: Lion's City (oben links), Solaris Urbino 18 (oben rechts), Hess Swisstrolley 3 (unten links) und Solaris Trollino 18 (unten rechts) .....	28
Abbildung 7: Buslayout MAN Lion's City .....	29
Abbildung 8: Auswirkungen der zusätzlichen Türe auf die Fahrgastwechselzeit .....	30
Abbildung 9: Buslayout Solaris Urbino 18 (Nr. 331-338) .....	31
Abbildung 10: Innenraumgestaltung der Solaris Urbino Nr. 341-345 (oben) und Nr. 346-350 (unten) .....	31
Abbildung 11: Buslayout Solaris Trollino 18 .....	32
Abbildung 12: Buslayout Hess Swisstrolley 3 .....	33
Abbildung 13: Beispiel von zwei untersuchten Haltestellen: Brühleck stadteinwärts (links) und Schmidgasse stadtauswärts (rechts).....	36
Abbildung 14: Schematische Darstellung des Vorgehens für die Untersuchung.....	40
Abbildung 15: Komponenten der Haltezeit ohne Fahrausweisverkauf und die unterschiedlichen vorhandenen Messungen (in Rot) .....	46
Abbildung 16: Untersuchung der Auslastung der Bustypen .....	48
Abbildung 17: Berücksichtigte Ansätze bei der Auswertung der Fahrgastwechselzeit.	50
Abbildung 18: Histogramm mit Haltezeit beim MAN (links) und Solaris Urbino (rechts) .....	58
Abbildung 19: Boxplot der Haltezeit der Gelenkbusse mit 25% und 75%-Quantil.....	60

Abbildung 20: Maximalwerte der Anzahl Ein- und Aussteiger in einer Sekunde .....	69
Abbildung 21: Fahrgastwechselzeit vs. Anzahl Ein- und Aussteiger Stadthaus stadteinwärts .....	71
Abbildung 22: Ausgewählter Bereich Fahrgastwechselzeit vs. Anzahl Ein- und Aussteiger, Stadthaus stadteinwärts .....	71
Abbildung 23: Fahrgastwechselzeit vs. Anzahl Ein- und Aussteiger Brühleck stadtauswärts .....	72
Abbildung 24: Ausgewählter Bereich Fahrgastwechselzeit vs. Anzahl Ein- und Aussteiger, Brühleck stadtauswärts .....	72
Abbildung 25: Untersuchung Fahrgastwechselzeit getrennt für Ein- und Aussteiger bei Hess und MAN .....	78
Abbildung 26: Vergleich der Personendichte im Türraum und im Gelenk .....	81
Abbildung 27: Mittelwerte der verschiedenen Haltezeiten der untersuchten Linien .....	83
Abbildung 28: Gelenkbereich und Türraum der beiden Bustypen MAN (oben) und Hess (unten) .....	87
Abbildung 29: Oft eintretende Situation bei hoher Auslastung beim MAN (oben) und Hess (unten) .....	89
Abbildung 30: Aufteilung der Ein- und Aussteiger auf vorderen und hinteren Bereich beim MAN (oben) und Hess (unten) .....	91
Abbildung 31: Standbilder der Kameras des MAN Lion's City .....	95
Abbildung 32: Einteilung der Sitzplätze nach durchschnittlichem Belegungsgrad .....	97
Abbildung 33: Sitzplatzbelegung bei einer Auslastung mit mindestens 10 besetzten Stehplätzen .....	98
Abbildung 34: Durchschnittliche Auslastung auf der Strecke Winterthur HB - Technikum .....	101
Abbildung 35: Brühleck stadtauswärts (links) und Loki stadtauswärts (rechts) .....	107
Abbildung 36: Loki stadteinwärts (links) und Gaswerk stadteinwärts (rechts) .....	108

Abbildung 37: Brühleck stadteinwärts (links) und Schmidgasse stadtauswärts (rechts)	109
Abbildung 38: Geeignetes Haltestellendesign	110
Abbildung 39: Optimales Buslayout für einen Gelenkbus	113

## Abkürzungen

AFAZ	Automatische Fahrgastzählanlage / -system
FGW	Fahrgastwechsel
FGWZ	Fahrgastwechselzeit
HVZ	Hauptverkehrszeit (Morgen: 06:00 Uhr – 09:00 Uhr, Abend: 16:00 Uhr – 19:00 Uhr)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
SVI	Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten
ZVV	Zürcher Verkehrsbund





Masterarbeit Studiengang Bauingenieurwissenschaften

## Personenfluss im Busverkehr

Marco Binswanger  
Morgenstrasse 14  
3073 Gümligen

Telefon: 077 416 80 63  
e-Mail-Adresse:  
bimarco@muri-be.ch

Juli 2017

### Kurzfassung

Das Personenaufkommen im öffentlichen Verkehr nimmt aufgrund des Ausbaus des Verkehrsangebots und der wachsenden Bevölkerung in nächster Zeit zu. In Winterthur sind die Busse in den Spitzenstunden bereits jetzt stark ausgelastet. Um den Betrieb aufrechterhalten zu können, ist die Einhaltung der Haltezeiten wichtig. Dabei spielt die Fahrgastwechselzeit eine Hauptrolle. Seit einem Jahr ist in Winterthur fünftürige Busse im Einsatz, welche die Fahrgastwechselzeit reduzieren sollen. In dieser Arbeit wird der Einfluss der fünften Türe auf die Fahrgastwechselzeit evaluiert. Dieser Untersuchung liegt eine Literaturrecherche zu den Fahrgastwechselzeiten und dem Fahrgastfluss im Bus zu Grunde. Darauf aufbauend werden die Fahrgastwechselzeiten der verschiedenen, in Winterthur im Einsatz stehenden, Gelenkbusse untersucht. Zudem wird der Einfluss des Buslayouts auf die Fahrgastwechselzeit untersucht und es werden Vorschläge gemacht, wie der Innenraum gestaltet werden soll. Der Einfluss des Haltestellendesigns wird ebenfalls untersucht. Für die Arbeiten stehen Daten aus dem automatischen Fahrgastzählsystem, Haltezeiten von der Leitstelle und Videoaufnahmen von Stadtbus Winterthur zur Verfügung. Zudem werden Erhebungen vor Ort gemacht. Die Erkenntnisse dieser Arbeit, welche bei der zukünftigen Gestaltung von Bussen und bei Haltestellen berücksichtigt werden können, werden verallgemeinert.

### Schlagworte

Fahrgastwechsel, Personenfluss, fünftüriger Gelenkbus, Fahrgastwechselzeit, Haltezeit, Innenraumgestaltung, Haltestellendesign

### Zitierungsvorschlag

Binswanger, Marco (2017): Personenfluss im Busverkehr, Optimale Gestaltung von Fahrzeugen zur Verbesserung der Fahrgastwechselzeit, *Masterarbeit*, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Die Fahrgastwechselzeit spielt im städtischen Busverkehr auf Grund des relativ grossen Anteils an der Gesamtfahrzeit eine wichtige Rolle. Längere Fahrgastwechselzeiten bewirken längere Fahrzeiten und können im Betrieb zu Verspätungen führen. Ein optimales Buslayout kann hierbei die Fahrgastwechselzeiten reduzieren und so zu einem stabilen Betrieb beitragen. Zur Bestimmung der Fahrgastwechselzeiten und zum Vergleich unterschiedlicher Buslayouts können Berechnungen herangezogen werden. Diese beinhalten meist jedoch nur spezifische Eigenschaften wie etwa die Türbreite und den Höhenunterschied zwischen Wagenboden und Haltestelle und verwenden ältere Messungen als Datenbasis.

Inzwischen sind viele Fahrzeugflotten mit automatischen Fahrgastzählssystemen ausgestattet, die neben der Anzahl Ein- und Aussteiger auch die Fahrgastwechselzeit erfasst. Mit Hilfe dieser Daten ist es daher möglich unterschiedliche Fahrzeugtypen miteinander zu vergleichen und den Einfluss des Fahrzeuglayouts zu quantifizieren.

Stadtbus Winterthur hat neue Gelenkbusse angeschafft, die anstelle der bisher üblichen vier Türen eine zusätzliche Türe besitzen. Es ist daher zu erwarten, dass die neuen Gelenkbusse mit fünf Türen auch bessere Fahrgastwechselzeiten aufweisen. Zur Überprüfung dieser These sind Daten des automatischen Fahrgastzählsystems und des Fahrleitsystems vorhanden, diese wurden jedoch bisher noch nicht diesbezüglich ausgewertet.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Unterschiede zwischen den vier- und fünftürigen Gelenkbussen von Stadtbus Winterthur zu quantifizieren und die wichtigsten Einflüsse des Layouts zu beschreiben. Dabei sollen insbesondere folgende Fragestellungen betrachtet werden:

- Welche Ansätze zur Bestimmung der Fahrgastwechselzeiten bei Bussen sind aus der Literatur verfügbar? Welche Elemente des Fahrzeuglayouts haben möglicherweise einen Einfluss auf den Personenfluss im Fahrzeug? Welchen Einfluss hat das Haltestellendesign?
- Wirkt sich die zusätzliche Türe (5 statt 4 Türen) der Gelenkbusse auf die Fahrgastwechselzeit positiv aus? Gibt es weitere Unterschiede im Fahrzeuglayout, die die

Fahrgastwechselzeit wesentlich beeinflussen? Lassen sich die Schlussfolgerungen auch auf andere Bustypen übertragen?

- Wie wirkt sich beim Gelenkbus eine 5. Türe auf den Befüllungsgrad der Sitzplätze gegenüber einer viertürigen Version aus? Wie wirkt sich beim Gelenkbus eine 5. Türe mit ihrem zusätzlichen Podestbereich auf den Gesamtbefüllungsgrad (Steh- und Sitzplätze) gegenüber einer viertürigen Version aus?
- Wie stark wirkt sich das Haltestellendesign auf die Fahrgastwechselzeit aus? Wie müsste eine Haltestelle ausgestattet sein, um einen optimalen Fahrgastfluss zu gewährleisten? Ist dabei für unterschiedliche Bustypen ein anderes Layout vorzusehen?

## 2 Vorgehen und Methodik

### 2.1 Vorgehen

Die Arbeit wird in Zusammenarbeit mit Stadtbus Winterthur geschrieben.

Dieser Arbeit liegt eine ausführliche Literaturstudie zu Grunde, welche einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand bezüglich Fahrgastwechselzeit und Personenflüsse im Busverkehr gibt. Anschliessend werden allfällige Lücken aufgedeckt und Erkenntnisse festgehalten. Daraus geht eine schematische Darstellung der Einflussfaktoren auf den Fahrgastwechsel und die Personenflüsse hervor. Danach erfolgen Beobachtungen vor Ort. Mithilfe der Zielsetzung und den Erkenntnissen aus den Beobachtungen vor Ort wird eine Hypothese zur Fahrgastwechselzeit festgelegt, welche vertieft untersucht wird.

Eine erste Abschätzung zur Fahrgastwechselzeit kann mit den mathematischen Ansätzen aus der Literatur durchgeführt werden. Die Aussagen werden mit Beobachtungen vor Ort abgeglichen. Zuerst geht es darum, eine oberflächliche, analytische und quantitative Aussage über die Fahrgastwechselzeit bei den unterschiedlichen Gelenkbus-Typen von Stadtbus Winterthur machen zu können. Stadtbus Winterthur stellt für diese Arbeit Daten zur Verfügung. Als Hilfsmittel dienen die Daten aus den automatischen Fahrgastzählssystemen an den Türen, die gemessenen Haltezeiten der Leitstelle und Videoaufzeichnungen. Nach Abklärung mit Stadtbus Winterthur ist zu Beginn der Arbeit klar geworden, dass keine türscharfen Daten zur Verfügung stehen, was die Überprüfung der Fahrgastwechselzeit erschwert. Zuerst konnten nur die Haltezeiten ausgegeben werden. Acht Wochen nach Ausgabe der Arbeit stellte sich heraus, dass die Fahrgastwechselzeit doch zur Verfügung gestellt werden kann. Die Erkenntnisse aus der Auswertung der Daten von Stadtbus Winterthur werden mit punktuellen Untersuchungen vor Ort überprüft.

Nach der Überprüfung der Hypothese wird die Innenraumgestaltung der Bustypen detaillierter untersucht. Hierfür wird eine Hypothese aufgestellt, welche mit Messungen vor Ort und Videoauswertungen überprüft wird.

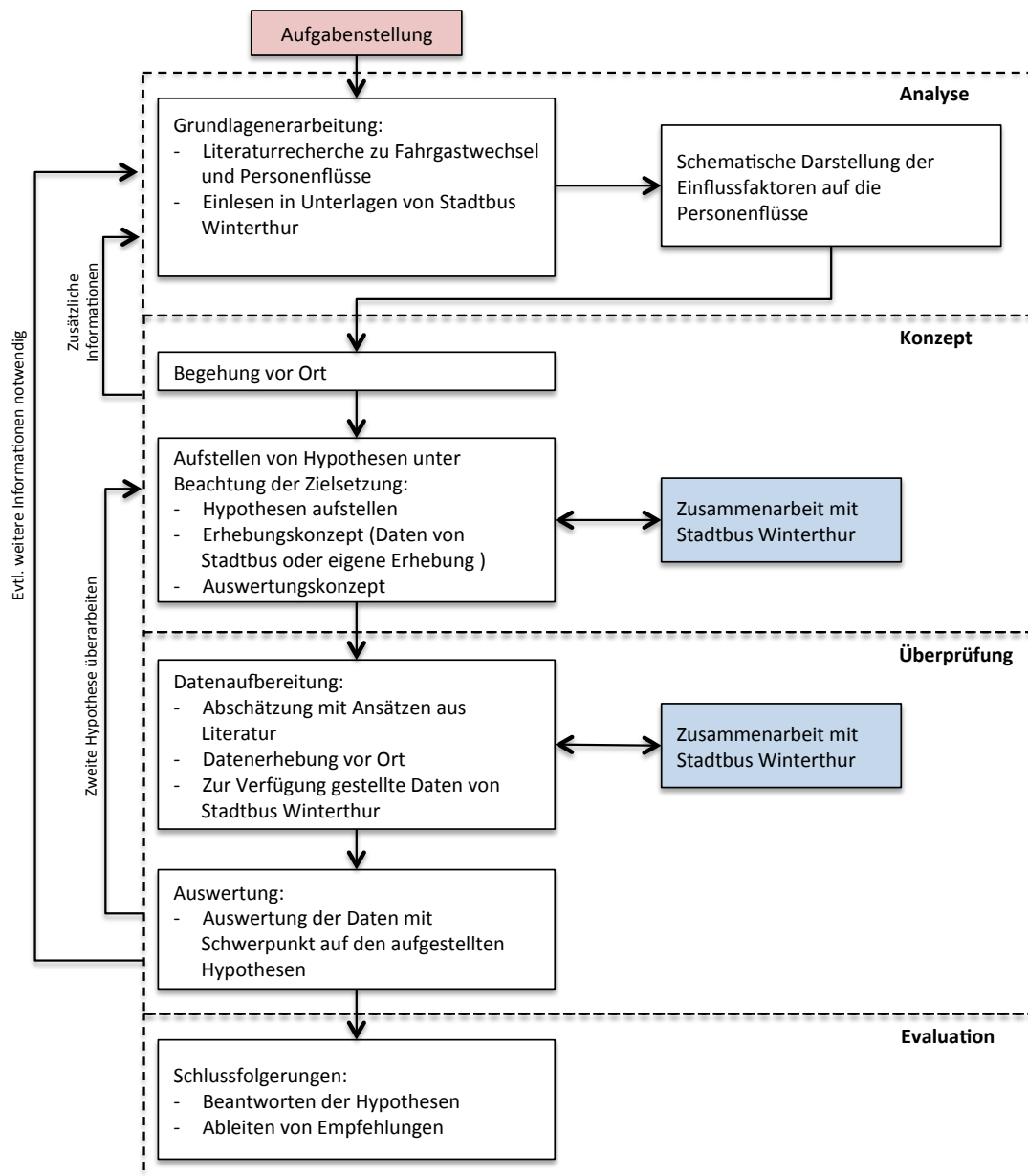
Mit Hilfe der Resultate aus der Untersuchung der Fahrgastwechselzeit werden noch einzelne Haltestellen untersucht, um Aussagen zum Haltestellendesign zu machen.

In einem letzten Schritt werden aus den gewonnenen Erkenntnissen allgemein gültige Aussagen zu der Gestaltung des Fahrzeuglayouts gemacht.

Das generelle Vorgehen ist in Abbildung 1 zusammengefasst.



Abbildung 1: Schematische Darstellung des Vorgehens



Quelle: Eigene Darstellung

## **2.2 Methodik**

### **2.2.1 Literaturrecherche**

Für die Literaturrecherche werden wissenschaftliche Arbeiten sowie wissenschaftliche Artikel aus Magazinen und Fachbücher beigezogen.

### **2.2.2 Automatisches Fahrgastzählssystem**

Einzelne Busse von jedem Bustyp sind mit einem automatischen Fahrgastzählssystem ausgestattet, mit welchem nicht turscharfe Daten erhoben werden. Turscharfe Daten können von Stadtbuss Winterthur nicht zur Verfügung gestellt werden, da diese Ausgabe im installierten Messsystem nicht freigeschaltet ist. Die für die Auswertung verwendeten Daten sind somit die Haltezeit, die Anzahl Ein- und Aussteiger und der Personensaldo im Fahrzeug für die unterschiedlichen Haltestellen. Im Laufe der Arbeit wurde, aufgrund der Resultate aus der Auswertung der Haltezeit, mit dem Ausrüster des Fahrgastzählsystems Kontakt aufgenommen. Bei dieser Abklärung nach acht Wochen hat sich ergeben, dass die nicht turscharfe Fahrgastwechselzeit ebenfalls ausgegeben werden kann.

### **2.2.3 Haltezeiten der Leitstelle**

Die Leitstelle von Stadtbuss Winterthur misst für jeden Bus die Haltezeit, um zu überprüfen ob der Bus gemäss Fahrplan unterwegs ist. Dadurch bietet sich eine Möglichkeit, die Haltezeiten mit den Handmessungen und dem automatischen Fahrgastzählssystem zu vergleichen. Allerdings ist die Ausgabe dieser Daten für Stadtbuss Winterthur aufwendig, da jede Messung einzeln aufbereitet werden muss. Deshalb können nur einzelne Messungen für ausgewählte Bustypen bezogen werden.

### **2.2.4 Videoauswertungen**

Pro Bus sind fünf bis sechs Kameras installiert. Die Videoaufnahmen werden nach 72 Stunden wieder gelöscht. Allfällige Videoaufnahmen müssen rechtzeitig beantragt werden. Für die Auswertung können Videoaufnahmen aus den verschiedenen Bussen bezogen werden.

### **2.2.5 Beobachtungen vor Ort**

Vor Ort werden einzelne Beobachtungen und händische Messungen durchgeführt. Beobachtungen und Messungen sind zeitintensiv, weshalb diese im Voraus exakt geplant werden müssen. Die gesammelten Daten helfen, die Daten aus dem automatischen Fahrgastzählssystem oder die Videoaufnahmen zu überprüfen.

### 3 Grundlagen

Das Ziel dieses Kapitels ist es, sich einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand in Bezug auf die Fahrgastwechselzeit und die Personenflüsse zu verschaffen und allfällige Lücken aufzudecken.

#### 3.1 Literaturstudie zum Fahrgastwechsel

Im Zusammenhang mit dem Fahrgastwechsel gibt es eine Vielzahl an Studien, wobei die Mehrheit den Bahnverkehr untersucht. Es findet sich jedoch auch Literatur zum Busverkehr. Der Fahrgastwechsel im Bahn- und Busverkehr weist ähnliche Merkmale auf, weshalb einzelne Folgerungen des einen Verkehrsmittels auf das andere übertragen werden können. Die meisten Berichte stammen aus dem englischen und deutschen Sprachraum. Einige Studien kommen aus Chile (Fernandez, Valencia und Seriani, On passenger saturation flow in public transport doors 2015) (Fernandez, Zegers, et al. 2010). Bei diesen Studien muss berücksichtigt werden, dass das Verhalten und der Charakter der Personen anders sind als in Europa. Asiatische Studien sind ebenfalls vorhanden, wobei das Fahrgastwechselverhalten in Asien und Europa schwierig zu vergleichen ist. Deshalb wird auf asiatische Studien in der Arbeit nicht eingegangen (z.B.(Wang 2016, Q. Neg 2013)).

Im vorliegenden Kapitel werden zuerst zwei mathematische Ansätze aufgezeigt und verglichen. Danach werden verschiedene Einflussfaktoren auf den Fahrgastwechsel beschrieben. In einem letzten Schritt wird weiterführende Literatur (vgl. Kapitel 3.1.3) zu den Themen Fahrgastwechselzeiten, Türbreite, Personendichte, Anzahl Türen und Ticketentwertung analysiert.

##### 3.1.1 Mathematische Ansätze zur Bestimmung von Fahrgastwechselzeiten

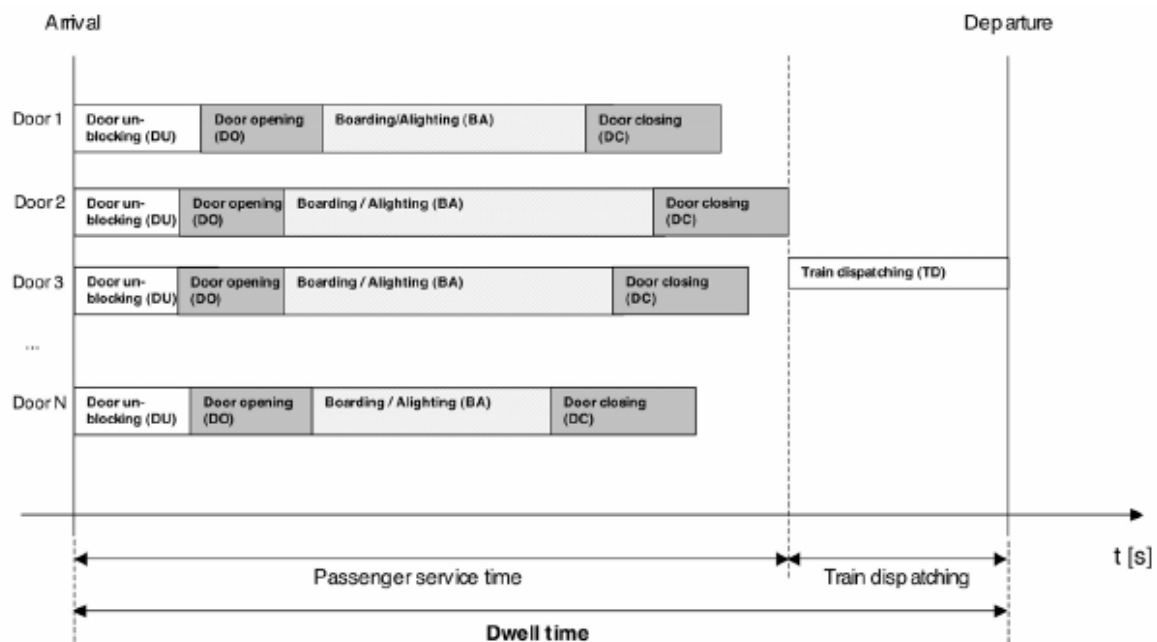
Es gibt mehrere Ansätze, welche die Fahrgastwechselzeit mit verschiedenen Variablen als Regression beschreiben (Kraft und Bergen 1974, Dueker, Kimpel und Strathman 2004, Currie, et al. 2013). Dazu gehören die Anzahl Fahrgäste, welche ein- und aussteigen, die Anzahl Fahrgäste im Fahrzeug, die Anzahl Türen und weitere Variablen. Mathematische Ansätze gibt es hingegen nur wenige. In diesem Kapitel werden die zwei folgenden Ansätze zur Berechnung der Fahrgastwechselzeit näher betrachtet:

- Ansatz nach Weidmann (U. Weidmann 1994)
- Ansatz nach Lenhoff, Janssen (Lenhoff und Janssen 2003)

### 3.1.1.1 Ansatz nach Weidmann

Prof. Dr. Weidmann hat sich in seiner Doktorarbeit vertieft mit dem Fahrgastwechsel auseinandergesetzt und unter anderem die Gesetzmässigkeiten bestimmt.

Abbildung 2: Teilvorgänge des Fahrgastwechsels und der Einfluss auf die Haltezeit



Quelle: (Buchmüller, Weidmann und Nash 2008)

Die Haltezeit setzt sich aus der Zeit ab welcher die Türe entsperrt ist, der Türöffnungszeit, der Fahrgastwechselzeit und der Zeit bis die Türe geschlossen ist, zusammen (vgl. Abbildung 2). Von Interesse ist hauptsächlich der Fahrgastwechsel, da in diesem Teilschritt das grösste Optimierungspotenzial herrscht. Die Fahrgastwechselzeit lässt sich laut Weidmann als stochastische Grösse mit verschiedenen Einflussfaktoren modellieren. Ein deterministisches Modell, bei welchem die Türbreite ein ganzzahliges Vielfaches der Fahrgäste ist, entspricht nicht der Realität. Die Fahrgastwechselzeiten folgen einer Wahrscheinlichkeitsfunktion. Diese ist gegeben durch den Mittelwert der Türbenützung  $F_i$  sowie dem Erwartungswert  $t_{h,fs}$ , der Streuung  $\sigma_{h,fs}$ , der Verteilungsfunktion  $P(t)$  und der Dichtefunktion  $p(t)$  der spezifischen Fahrgastwechselzeit.

Die Fahrgastwechselzahl ist die Zahl der Fahrgäste, welche an einer bestimmten Haltestelle bzw. Türe ein- und aussteigen. Die Fahrgastwechselzeit ist die Zeitdauer, während welcher sich Fahrgäste durch den Querschnitt einer Türe bewegen. Die mittlere Fahrgastwechselzeit ergibt sich, indem die Fahrgastwechselzeit durch die Fahrgastwechselzahl dividiert wird:

$$t_{h,fm} = \frac{t_{h,f}}{F}$$

wobei  $t_{h,fm}$  = Mittlere Fahrgastwechselzeit an einer Haltestelle oder Türe [s/P]  
 $t_{h,f}$  = Fahrgastwechselzeit an einer Haltestelle oder Türe [s]  
 $F$  = Fahrgastwechselzahl an einer Haltestelle oder Türe [P]

Literaturangaben zur mittleren Fahrgastwechselzeit sind in Kapitel 3.1.3.1 zu finden. Als Standardmass lässt sich die spezifische Fahrgastwechselzeit als Fahrgastwechselzeit pro Person unter Berücksichtigung der Türbreite definieren:

$$t_{h,fs} = \frac{t_{h,f} * \sum l_{T,bi}}{F}$$

wobei  $t_{h,fs}$  = Spezifische Fahrgastwechselzeit [sm/P]  
 $l_{T,bi}$  = Breite der Türe  
 $F$  = Fahrgastwechselzahl an einer Haltestelle oder Türe [P]

Mit Hilfe der Höhendifferenz und der Türbreite kann die Fahrgastwechselzeit einer Einzeltüre abgeschätzt werden. Es wird unterschieden zwischen Fahrzeugen mit einem Türabstand von mehr als 10 m (z.B. bei Zügen) und solchen mit einem Türabstand von weniger als 10 m. Bei Bussen ist der Türabstand weniger als 10 m und lautet:

$$t_{h,f} = \frac{F^{1.955}}{l_{T,b}^{0.955} * (0.756 * F + 0.114 * A) * (0.961 - 0.388 * l_{t,v})}$$

wobei  $l_{T,b}$  = Türbreite  
 $l_{T,v}$  = Höhendifferenz  
 $A$  = Anzahl Aussteiger pro Tür

Da sich die Fahrgäste in der Regel nicht gleichmässig auf die Türen verteilen, entspricht die Fahrgastwechselzeit an einer Haltestelle nicht der Fahrgastwechselzeit einer Einzeltüre. Die Fahrgastwechselzeit eines Kurses kann mit folgender Formel abgeschätzt werden:

$$t_{h,f} = \frac{F}{\sum l_{T,bi} * L_{S,i}} * \frac{k_{U,T} * k_D}{q_{K,L} * q_{K,nb}}$$

wobei  $L_{S,i}$  = spezifische Leistungsfähigkeit der Türe [P/sm]  
 $k_{U,T}$  = Zuschlagfaktor zur Fahrgastwechselzeit des ganzen Kurses bei ungleichförmiger Belastung des Türsystems

$$k_{U,T} = 1.0438 - 0.3259 * q_{U,T} + 0.2705 * q_{U,T}^2$$



mit  $q_{U,T}$  = Ungleichförmigkeitsmass der Türbelastung

$$q_{U,T} = \frac{Q_{T,rel\ max} (max.relative\ Türbelastung\ [s])}{Q_{T,rel} (relative\ Türbelastung\ [s])}$$

$k_D$  = Korrekturfaktor zur mittleren Fahrgastwechselzeit beim Auftreten von Stehplatzfahrgästen im Türraum ( $D_{F,T}$ )

$$k_D = 1 - 0.0986 * D_{F,T} + 0.0374 * D_{F,T}^2$$

mit  $D_{F,T}$  = Stehplatzdichte im Türraum (Mittel aus Situation vor und nach Fahrgastwechsel [ $P/m^2$ ])

$q_{K,L}$  = Standardisierter Ausschöpfungsgrad der Leistungsfähigkeit des Türsystems, bezogen auf die Leistungsfähigkeit bei einer spezifischen Türbelastung  $Q_{T,s}$

$$q_{K,L} = 0.8275 * Q_{T,s}^{0.0484}$$

mit  $Q_{T,s}$  = Spezifische Türbelastung [ $P/m$ ]

$q_{K,nb}$  = Wirkungsgrad des Türsystems in Funktion der Türzahl und der Breite der einzelnen Türen

$$q_{K,nb} = n_{T,K}^{0.2407 - 0.5464 * l_{t,b} + 0.0722 * l_{t,b}^2}$$

mit  $n_{T,K}$  = Türzahl des Kurses

$l_{t,b}$  = lichte Türbreite

Für den operativen Betrieb ist die Türe mit der längsten Fahrgastwechselzeit massgebend. Deswegen ist es wichtig, dass die Fahrgastwechselzeiten über alle Türen möglichst gleichmässig verteilt sind. Damit alle Türen eines Kurses gleich leistungsfähig sind, wird eine gleichmässige Türverteilung verlangt. Umgekehrt muss eine ungleichmässige Türverteilung, welche sich aus der Grundrissgestaltung des Fahrzeuges aufdrängen kann, mit einer Anpassung der Türleistungsfähigkeit berücksichtigt werden (U. Weidmann, Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr 1994).

Die Fahrgastverteilung im Fahrzeug und an der Haltestelle kann mit dem Fahrzeuglayout und dem Haltestellendesign gesteuert werden.

### **3.1.1.2 Ansatz nach Lenhoff, Janssen, Institut für Verkehrswirtschaft, Hannover**

Das Institut für Verkehrswirtschaft an der Universität in Hannover hat sich ebenfalls mit der Untersuchung und Optimierung der Fahrgastwechselzeit auseinandergesetzt. In diesem Bericht haben Professoren dieses Instituts sowohl den Bahn- als auch den Busbetrieb analysiert. Der Fahrgastwechsel wird mathematisch wie folgt beschrieben:

$$t_{S-FGW} = t_m * f_1 * f_2 * \dots * f_n$$

wobei:  $t_{S-FGW}$  = spezifische Fahrgastwechselzeit [s/P]  
 $t_m$  = mittlere spezifische Fahrgastwechselzeit [s/P]  
 $f_1$  bis  $f_n$  = Korrekturfaktoren

Die Fahrgastwechselzeit berechnet sich damit zu:

$$t_{FGW} = t_{S-FGW} * (m_e + m_A)$$

wobei:  $t_{FGW}$  = Fahrgastwechselzeit [s]  
 $m_E$  = durchschnittliche Anzahl der Einsteiger  
 $m_A$  = durchschnittliche Anzahl der Aussteiger

Für die Fahrplangestaltung wird bei Bussen ein Mindestwert von  $t_{FGW} = 3s$  festgelegt. Der gesamte Haltevorgang setzt sich aus der Zeit bis zum Beginn des Fahrgastwechsels, dem Fahrgastwechsel an sich und der Zeit bis zur Abfahrt des Fahrzeuges zusammen (Lehnhoff und Janssen 2003).

### 3.1.1.3 Vergleich der beiden Ansätze

Bei den beiden betrachteten Ansätzen werden nur wenige Faktoren der Innenraumgestaltung miteinbezogen. Beim Ansatz von Weidmann wird die Türbreite und die Leistungsfähigkeit der Türe berücksichtigt, welche abhängig von der Höhendifferenz zwischen dem Fahrzeugboden und der Haltekante ist. Bei der Studie der Universität Hannover werden Faktoren miteinberechnet, welche nicht näher erläutert sind. Zudem muss die spezifische Fahrgastwechselzeit angenommen werden. Diese ist abhängig vom Türsystem bzw. der Türbreite. Entweder wird diese Zeit mit dem Ansatz von Weidmann berechnet oder es werden Referenzwerte genommen, welche mit Untersuchungen belegt werden können. Da für die Studie der Universität Hannover solche Annahmen getroffen werden müssen, beschreibt der Ansatz von Weidmann den Fahrgastwechsel detaillierter.

In beiden Ansätzen wird davon ausgegangen, dass alle Fahrgäste die ein- und aussteigen, beim Beginn des Fahrgastwechsels an der Türe stehen. Oft ist der Zulauf zur Türe jedoch durch verschiedene Einflüsse beschränkt. Diese Kapazitätsrestriktionen umfassen sämtliche Einflüsse, welche limitierend auf die Leistungsfähigkeit der Türen wirken. Diese können auftreten, wenn die Kapazität systematisch nicht ausgeschöpft wird. Beim Einsteigevorgang treten immer wieder solche Kapazitätseinbussen auf, da die Fahrgäste nicht rechtzeitig an den Türen sind. Beim Ausstiegsvorgang versammeln sich die Fahrgäste meist schon vor dem Halt um die Türe, so dass die Leistungsfähigkeit besser ausgeschöpft wird. Bei kleinen Fahrgastwechselzahlen wird die Türleistungsfähigkeit nicht erreicht, da sich nicht genügend

Fahrgäste in Türrnähe befinden (U. Weidmann, Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr 1994). Durch ein optimales Fahrzeuglayout und Haltestellendesign soll der Zulauf zu den Türen auch bei einer hohen Fahrzeugauslastung möglichst nicht behindert werden. Die Fahrgäste sollen sich beim Halt des Kurses in Türrnähe befinden können.

### 3.1.2 Einflussfaktoren auf den Fahrgastwechsel

Im Ansatz von Weidmann ist ersichtlich, dass der Fahrgastwechsel von der Leistungsfähigkeit der Türe abhängig ist. Der Fahrgastwechsel wird jedoch zusätzlich von vielen weiteren Faktoren beeinflusst, welche nicht in den mathematischen Ansatz einfließen. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Einflussfaktoren aus der Literatur zusammengetragen.

In der Diplomarbeit von Leiner aus dem Jahr 1983 wurden die Einflussfaktoren bei der Bahn erarbeitet. Sie können auch für den Busverkehr als relevant angesehen werden. Die Faktoren lassen sich folgendermassen zusammenfassen (Leiner 1983):

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf den Fahrgastwechsel

<b>Verkehr</b>	<b>Fahrzeug</b>	<b>Haltestelle</b>	<b>Betrieb</b>
Anzahl Einsteiger / Aussteiger	Anordnung von Einbauelementen (Haltegriffe)	Bahnsteighöhe im Vergleich zum Fahrzeugboden	Lautsprecherdurchsagen
Verhältnis Einsteiger / Aussteiger	Türbreite	Bahnsteigbreite	Art des Fahrausverkaufs
Besetzungsgrad im Fahrzeug	Anordnung und Anzahl Stufen		
Zusammensetzung der Fahrgäste (Verkehrszeit, Schüler, Berufstätige etc.)	Gestaltung Fahrzeuginnenräume		
	Fahrgastfluss im Fahrzeug		

Die in Tabelle 1 aufgeführten Einflussfaktoren geben einen guten Überblick über deren Vielfalt. Laut Weidmann gibt es noch weitere Einflussfaktoren (U. Weidmann 1994):

- Türbreite ist nicht identisch mit Breite der Fahrgäste oder einem ganzzahligen Vielfachen
- Breite der Fahrgäste variiert
- Fahrgastverteilung im Fahrzeug (Fahrgäste sind unstrukturiert verteilt)
- Im Fahrzeuginnen und gelegentlich auch an den Haltestellen treten Rückstauererscheinungen auf

- Fahrgäste sind nicht alle gleich schnell
- Zeitlücken werden nicht alle ausgenutzt
- Bauliche Gestaltung des Stauraumes und Leistungsfähigkeit der Verbindungen zu den übrigen Fahrzeugbereichen
- Grad der Stehplatzbelegung im Türbereich
- Anteil des Fahrgastwechsels an der Gesamtzahl der Fahrgäste

Aus diesen Einflussfaktoren ist ersichtlich, dass der Vorgang des Fahrgastwechsels zu Personenflüssen im Fahrzeug und an der Haltestelle führt. Eine eigene Darstellung mit den relevanten Einflussfaktoren zum Personenfluss und dadurch indirekt auch zu der Fahrgastwechselzeit, ist in Kapitel 3.3 (vgl. Abbildung 5) zu finden.

### **3.1.3 Relevante Erkenntnisse aus weiterführenden Studien**

Zum Fahrgastwechsel gibt es weitere internationale Studien. Die für diese Arbeit wichtigsten Studien werden in diesem Kapitel zusammengefasst. Allgemein lässt sich sagen, dass interkontinentale Studien schwierig miteinander zu vergleichen sind, da das Fahrgastverhalten von Kontinent zu Kontinent unterschiedlich ist.

#### **3.1.3.1 Mittlere Fahrgastwechselzeit**

Die mittlere Fahrgastwechselzeit wurde in einer Studie im Jahr 1969 in Abhängigkeit des Gepäcks ermittelt. Bei wenig Handgepäck beträgt die Fahrgastwechselzeit 1.5-2.5 s/P. Bei einem hohen Gepäckanteil können die Werte bis auf 6.0 s/P anwachsen (Boardman und Kraft 1969). In diesen Angaben sind der Belegungsgrad des Fahrzeuges, die Türbreite und die Höhendifferenz zwischen Fahrzeugboden und Haltekante nicht zu finden. Folglich sind die Resultate nur bedingt aussagekräftig und nicht mit anderen Studien vergleichbar. Da die Fahrzeuge in den letzten Jahren optimiert wurden (Innenraum, Türanordnung, Höhendifferenz beim Aussteigen), werden heute eher tiefere Wechselzeiten erwartet. Somit gilt die oben erwähnte mittlere Fahrgastwechselzeit nur für ein bestimmtes Fahrzeug und für eine bestimmte Fahrgastwechselzahl, da viele weitere Faktoren der Fahrzeuggestaltung einen Einfluss haben (U. Weidmann, Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr 1994).

In einer Studie von Dr. Levinson aus dem Jahr 1983 wird der Fahrgastwechsel quantifiziert. Zum allgemeinen Öffnungs- und Schliessprozess, welcher zum Zeitpunkt der Studie 5 Sekunden gedauert hat, kommt eine zusätzliche Fahrgastwechselzeit von 2.75 Sekunden pro Fahrgast (Levinson 1983). Die Fahrgastwechselzeit in der Studie von Levinson wurde praktisch ausschliesslich bei Autobussen mit erhöhtem Einstieg gemessen, da die Niederflertechnik zu dieser Zeit noch nicht verbreitet war. In einer aktuelleren Arbeit aus dem Jahr 2004 wurde dieser Ansatz überprüft. Der allgemeine Öffnungs- und Schliessprozess von 5 Sekunden konnte bestätigt werden. Beim Fahrgastwechsel werden hingegen die Einsteiger

und Aussteiger unterschieden. Die Aussteiger benötigen etwa 1.7 Sekunden, während die Einsteiger 3.5 Sekunden brauchen, wobei die Tageszeit einen Einfluss hat. Am Morgen läuft der Fahrgastwechsel schneller ab als am Mittag und am Abend. Bei Dueker, Kimpel und Strathman ergeben sich die Resultate aus der Fahrgastwechselzeit von Autobussen mit erhöhtem Einstieg. Der Einfluss eines Niederflurbusses ist nur gering ( $-0.11$  s/P) (Dueker, Kimpel und Strathman 2004).

### 3.1.3.2 Fahrgastverteilung im Fahrzeug

Laut einer Arbeit von Weidmann hat die Fahrgastverteilung im Fahrzeug einen grossen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit. Die Fahrgastverteilung wird beeinflusst durch die Dichte der Fahrgäste im Türraum und dadurch, welche Türen in welchem Masse benutzt werden. Deswegen sollen Fassungsvermögen und Türleistungsfähigkeit möglichst gut übereinstimmen (Weidmann, Grundlagen zur Berechnung der Fahrgastwechselzeit 1995).

### 3.1.3.3 Optimale Türbreiten und Höhendifferenz

2010 erschien eine Studie aus Chile, welche davon ausging, dass die Haltestellenhöhe, die Türbreite und die Methode für den Ticketerwerb (im Bus oder an der Haltestelle) die Fahrgastwechselzeit beeinflussen. Die Fahrgastwechselzeit wurde als lineare Funktion beschrieben, welche von der Anzahl Ein- und Aussteigern abhängt. Für die Experimente wurde ein Bus nachgebildet, bei welchem die Türbreiten und die Einstiegshöhe variiert werden konnten. In den Versuchen ergaben eine Einstiegshöhe von 150 mm und eine Türbreite von 1600 mm die besten Ergebnisse ((Fernandez, Zegers, et al. 2010), vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Fahrgastwechselzeit in Abhängigkeit der Türbreite und Einstiegshöhe

Türbreite [mm]	Einstiegshöhe [mm]	Einsteiger [s/P]	Aussteiger [s/P]
800	0	1.54	1.22
800	150	1.42	1.11
800	300	1.45	1.19
1600	0	1.18	0.73
1600	150	0.79	0.69
1600	300	0.98	0.73

Quelle: (Fernandez, Zegers, et al. 2010)

Die aussteigenden Fahrgäste scheinen bei einer kleinen Höhendifferenz von 150 mm den Bus schnell und ohne grossen Energieaufwand verlassen zu können. Bei den einsteigenden Fahrgästen scheint eine solche Höhendifferenz nicht als Hindernis zu wirken. Erst bei grösseren Höhendifferenzen steigt die Fahrgastwechselzeit an.

Weidmann gibt in seiner Arbeit die spezifische Leistungsfähigkeit der Türe in Abhängigkeit von der Höhendifferenz ( $l_{t,v}$ ) so an:

$$L_s = 0.9608 - 0.3878 * l_{t,v}$$

Der Gültigkeitsbereich ist abzugrenzen, da die Leistungsfähigkeit der Türe nicht auf Null sinken kann, sondern sich der Treppenleistungsfähigkeit annähern muss. Diese Annäherung zeigt, dass die Leistungsfähigkeit bei einem ebenerdigen Ausstieg am höchsten ist, was mit der obenstehenden Studie in einem Konflikt steht (Weidmann, Grundlagen zur Berechnung der Fahrgastwechselzeit 1995). Eine Begründung für den Unterschied dieser Studien kann nicht gefunden werden.

In einer weiteren Studie aus Chile aus dem Jahr 2015 wurden ebenfalls die Türbreiten untersucht und die oben aufgeführten Resultate betreffend Türbreite bestätigt. Jedoch bildet sich bei einer doppelt so breiten Türe nicht ein doppelt so grosser Personenfluss. Dies deutet darauf hin, dass es eine optimale Türbreite gibt, bei welcher der Personenfluss pro Meter das Maximum erreicht (Fernandez, Valencia und Seriani, On passenger saturation flow in public transport doors 2015). Welche Breite dies ist, wurde in der Arbeit nicht ermittelt. Eine aktuelle internationale Studie untersuchte bei U-Bahn-Systemen drei verschiedene Türbreiten (1600 mm, 1700 mm und 1800 mm). Die Resultate ergaben, dass der Fahrgastwechsel bei einer Türbreite von 1700 mm am schnellsten abgeschlossen war (Thoreau, et al. 2017). Ein Grund für das gute Abschneiden der 1700 mm breiten Türe ist, dass die Fahrgäste je nach Türbreite unterschiedlich zuströmen und dadurch je nach Türe nicht die volle spezifische Leistungsfähigkeit erreicht wird (U. Weidmann, Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr 1994).

In weiteren Studien wurde untersucht, welchen Einfluss der horizontale Abstand und die Spaltbreite vom Bus zur Haltekante haben. Zu diesem Thema konnten nur in einer Arbeit Anhaltspunkte gefunden werden. Diese sagen aus, dass sich die Fahrgastwechselzeit bei einer Spaltbreite von 200 mm um mehr als 18 % erhöht (Weidmann, Grundlagen zur Berechnung der Fahrgastwechselzeit 1995).

### **3.1.3.4 Steigende Personendichte im Fahrzeug**

Eine wichtige Frage in Bezug auf den Fahrgastwechsel ist, ab welchem Belegungsgrad die mittlere Fahrgastwechselzeit ansteigt, da sich die Fahrgäste nicht mehr ungestört im Fahrzeug verteilen können. Bei der im vorhergehenden Kapitel erwähnten aktuellen Studie von Thoreau wurde dies untersucht. Es zeigt sich, dass sich die Fahrgastwechselzeit der Einsteigenden mit steigender Personendichte im Fahrzeug von 0 P/m<sup>2</sup> auf 6 P/m<sup>2</sup> fast linear von 0.9 s/P auf 2.0 s/P erhöht. Bei den Aussteigenden wächst die Fahrgastwechselzeit mit steigender Personendichte im Fahrzeug von 0 P/m<sup>2</sup> auf 6 P/m<sup>2</sup> beinahe exponentiell von 0.6 s/P auf 6.0 s/P (Fernandez, Valencia und Seriani, On passenger saturation flow in public

transport doors 2015). Dies kann damit erklärt werden, dass die höhere Dichte im Fahrzeug es dem Aussteigenden schwieriger macht, zur Türe zu gelangen. Dass der Belegungsgrad und die Personendichte einen grossen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit haben, zeigt sich auch in weiteren Studien (z.B. (Fernandez, Gibson und Méndez, Modelacion del Comportamiento en Paraderos Formales 1995), (Zografos und Levinson 1986)). Einer Studie aus der Schweiz ist zu entnehmen, dass bei einer Stehplatzdichte von  $2 \text{ P/m}^2$  die Fahrgastwechselzeit deutlich zunimmt. Bei einer Stehplatzdichte von  $3 \text{ P/m}^2$  ist die Fahrgastwechselzeit mit Faktor 1.3 grösser, als wenn nur die Sitzplätze belegt sind (Weidmann, Dorbritz, et al. 2011b).

### **3.1.3.5 Anzahl Türen**

Der Einfluss der Anzahl Türen auf die Fahrgastwechselzeit wurde in einigen Studien bereits erwähnt, jedoch nicht näher darauf eingegangen (z.B. (Lehnhoff und Janssen 2003)). In einer Studie von Schelenz 2014 wurde die Fahrgastwechselzeit eines dreitürigen und eines viertürigen Gelenkbusses mit Hilfe einer Simulation verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Fahrgastwechsel beim viertürigen Gelenkbus um etwa 8% schneller abläuft (Schelenz, et al. 2014).

### **3.1.3.6 Ticketentwertung im Fahrzeug**

In einigen Studien wurde der Einfluss des Ticketverkaufs im Fahrzeug auf die Fahrgastwechselzeit näher betrachtet. In einer Studie aus Chile aus dem Jahr 2010 zeigt sich, dass ein Entwertungsautomat im Bus zu einer Erhöhung der Fahrgastwechselzeit von bis zu 22% führt (Fernandez, Zegers, et al. 2010). Weitere Studien von Dorbritz und Sun werden in dieser Arbeit nicht näher betrachtet, da in der Schweiz nur in wenigen Bussen Entwertungssysteme eingesetzt werden (Dorbritz, et al. 2009, Sun, et al. 2013).

## **3.2 Einflussfaktoren bei Personenflüssen**

Der Fahrgastwechsel wird von den Personenflüssen im Fahrzeug und an den Haltestellen beeinflusst. Diese Einflussfaktoren werden nur in wenigen Literaturstudien behandelt (Schelenz, et al. 2014, Thoreau, et al. 2017, U. Weidmann 1994). Soll eine möglichst kurze Fahrgastwechselzeit erreicht werden, sind sie jedoch wichtig. Die Fahrgäste müssen möglichst behinderungsfrei und rasch zu den Türen gelangen. Deshalb sollen Fahrzeuge durch eine geeignete Innenraumgestaltung einen guten Zulauf zu den Türen ermöglichen, damit die Fahrgastwechselzeit verringert wird.

Damit die Personenflüsse qualitativ beurteilt werden können, ist es wichtig zu wissen, welche Faktoren eine Rolle spielen. Einige decken sich mit den Einflussgrössen der Fahrgastwechselzeit. Mit Hilfe der in Kapitel 3.1 erwähnten Literatur zum Fahrgastwechsel werden diese

Faktoren beschrieben. Hierfür werden der Fahrgast, das Fahrzeuglayout und das Haltestellendesign getrennt analysiert und systematisch zusammengefasst (vgl. Abbildung 5).

### **3.2.1 Fahrgast**

Der Fahrgast selbst spielt sowohl für die Personenflüsse im Fahrzeug als auch für jene an der Haltestelle eine zentrale Rolle. Der Zustand des Fahrgastes bestimmt seine Bewegungsfreiheit und die Gehgeschwindigkeit. Auf den Fahrgast und seine Eigenschaften kann nicht direkt Einfluss genommen werden. Die wichtigsten Einflussgrößen sind (U. Weidmann, Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr 1994):

- Alter und Geschlecht
- Platzbedarf des einzelnen Fahrgastes
- Mobilitätseinschränkungen

Dazu kommen noch Punkte wie die Vertrautheit der Person mit dem Verkehrssystem, das persönliche Temperament, der Zeitdruck und der Verkehrszweck.

#### **3.2.1.1 Alter und Geschlecht**

Die Lebenserwartung in der Schweiz wächst seit Jahren konstant. Im Jahr 1876 betrug die Lebenserwartung noch circa 40 Jahre, heute liegt sie bei Frauen bei 85 und bei Männern bei 80 Jahren (Bundesamt für Statistik 2017). Dadurch nimmt die Anzahl an mobilitätsbehinderten Fahrgästen im öffentlichen Verkehr zu. Auch das Geschlecht beeinflusst die Gehgeschwindigkeit, bei Männern liegt diese im Mittel um 10.9% über der Gehgeschwindigkeit von Frauen (Glissmeyer 1974).

#### **3.2.1.2 Platzbedarf des einzelnen Fahrgastes**

Der Mindestplatzbedarf einer Person ohne Gepäckstücke beträgt etwa  $0.085\text{m}^2$ . Unter Berücksichtigung der nicht auffüllbaren Zwischenräume beansprucht ein Mensch  $0.11\text{m}^2$ . Dies ergibt eine Grenzdichte von  $9.3\text{ P/m}^2$  (Dreyfuss 1967). In der Praxis empfindet es der Fahrgast bereits ab einer Dichte von mehr als  $4\text{ P/m}^2$  als unbehaglich („Level of Service: allgemeine Wartefläche“).

#### **3.2.1.3 Mobilitätseinschränkungen**

Die Mobilitätseinschränkungen lassen sich in die drei Hauptkategorien Reisebehinderungen (durch Gepäck, Kinderwagen etc.), Altersbehinderungen und Behinderungen im engeren Sinn unterteilen (Körper-, Seh-, Hör- und geistig Behinderte) (B. Rüger 2007).



Laut einer Studie aus dem Jahre 2004 hängt die Menge und Art von Gepäck, welche mitgenommen wird, von den Parametern Reisezweck und Gruppengrösse ab. Der häufigste Reisezweck ist der Besuch von Verwandten (Rüger 2004). Diese Studie beschränkt sich jedoch auf den Fernverkehr, es sind keine Angaben zum Nahverkehr vorhanden. Aufgrund der deutlich geringeren Anzahl Urlaubsreisenden mit viel Gepäck im Nahverkehr sind die Angaben dieser Studie für diese Arbeit nicht relevant. Im Nahverkehr spielt der Reisezweck eine wichtige Rolle, wobei der Pendleranteil dominant ist. In einer älteren Studie aus Deutschland aus dem Jahr 1970 wurde festgestellt, dass an einem Arbeitstag drei Viertel der Fahrgäste im Nahverkehr ein oder zwei Gepäckstücke mit sich führen, während nur ein Viertel ohne Gepäck reist (Planungsgesellschaft Ruhr 1970). Aktuellere Studien zum Nahverkehr konnten keine gefunden werden.

Zu den Altersbehinderungen wurden keine detaillierten Angaben gefunden. Die wichtigsten Aspekte zur Person sind in Kapitel 3.2.1.1 bereits beschrieben.

Die Behinderten im engeren Sinn liessen sich im Jahr 1994 in Körperbehinderte (2.7%), Sehbehinderte (1.3%), Hörgeschädigte (7.6%) und geistig Behinderte (2.7%) einteilen (U. Weidmann 1994). Aktuellere Prozentangaben konnten nicht gefunden werden.

### 3.2.2 Fahrzeuglayout

Beim Fahrzeuglayout spielt der räumliche Aufbau des Fahrzeuges eine grosse Rolle. Die Personenflüsse entstehen durch den Umsteigevorgang. Die Aussteigenden bewegen sich von ihrem Aufenthaltsort im Bus zu einer Türe und die Einsteigenden begeben sich im Fahrzeug von einer Türe zum bevorzugten Platz. Die wichtigsten Faktoren wurden aus den in Kapitel 3.1 behandelten Studien zusammengefasst und in Tabelle 3 dargestellt:

Tabelle 3: Einflussfaktoren des Fahrzeuglayouts

<b>Auslastung</b>	<b>Ausstattung</b>	<b>Platzverhältnisse</b>	<b>Türen</b>
Belegung Sitzplätze	Stehplätze	Länge	Anzahl
Belegung Stehplätze	Sitzplätze	Breite	Anordnung
Gesamtbelegungsgrad	Haltestangen	Gangbreiten	Türbreite
	Anlehnbügel	Stauflächen	Einstiegshöhe
		Treppen	Spaltbreite
		Podest	Verteilung der Fahrgäste

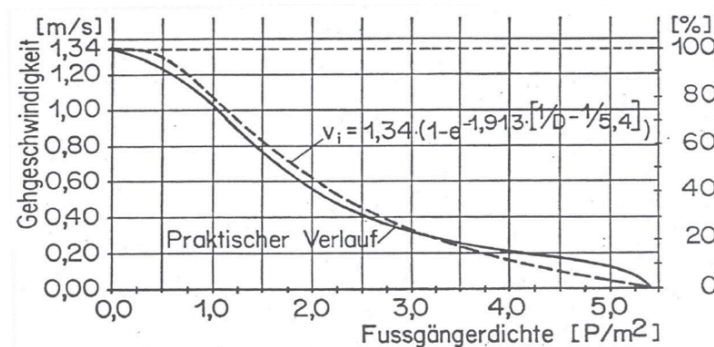
Quelle: Literatur aus Kapitel 3.1.3 und eigene Beobachtungen

Die hier erwähnten vier Gruppen an Einflussfaktoren werden in den nächsten Kapiteln kurz erläutert.

### 3.2.2.1 Auslastung

Je grösser die Auslastung im Fahrzeug ist, desto grösser ist die Personendichte. Wie die Abbildung 3 zeigt, nimmt die Gehgeschwindigkeit mit zunehmender Personendichte ab, was zu einer Verlangsamung des Personenflusses führt. Der Geschwindigkeitsabfall tritt im Bereich zwischen 0.5 und 2.0 P/m<sup>2</sup> auf.

Abbildung 3: Einfluss der Fussgängerdichte auf die Gehgeschwindigkeit



Quelle: (U. Weidmann 1994)

Weiter werden bei einer ungleichmässigen Fahrzeugauslastung die Türen nicht gleichmässig genutzt, weswegen die Fahrgastwechselzeit anwächst. Laut Weidmann bleibt der Fahrgastausgleich im Fahrzeug schwach, denn Fahrgäste empfinden eine leichte Überbelegung nicht als gravierend und wechseln deshalb den Platz nicht. Weiter hindert eine hohe Auslastung die Fahrgäste einen anderen Platz aufzusuchen. Aus diesen Punkten ergibt sich die Fahrgastverteilung im Bus (Weidmann, Grundlagen zur Berechnung der Fahrgastwechselzeit 1995).

Laut einem Bericht von Weidmann ist bei den Sitzplätzen keine Differenz betreffend der Attraktivität zu erkennen, während bei den Stehplatzbereichen grosse Differenzen auftreten. Die Fahrgäste bleiben wenn möglich in der Nähe der Türen stehen, die Gänge werden so lange wie möglich gemieden, da es umständlich ist, bei einer hohen Fahrzeugauslastung zur Türe zu gelangen. In einer Studie wurde festgestellt, dass die Gänge erst ab einer Fahrzeugauslastung von 35 % bis 40 % als Stehplatz genutzt werden (U. Weidmann, Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr 1994).

### 3.2.2.2 Ausstattung

Die Ausstattung hängt eng mit den Platzverhältnissen zusammen. Je mehr Sitzplätze vorhanden sind, desto weniger Platz bleibt für Stauflächen und Stehplätze übrig. Zudem kann durch eine geeignete Anordnung von Anlehn- und Haltestangen das Fahrgastverhalten gesteuert werden. Laut einer Studie aus Frankreich verbessert sich der Personenfluss im Fahrzeug, wenn die Sitzplätze seitlich entlang der Seitenwände angeordnet sind. Durch eine

Queranordnung sinkt die Personendichte im Fahrzeug und der Komfort steigt (Elleuch, et al. 2017).

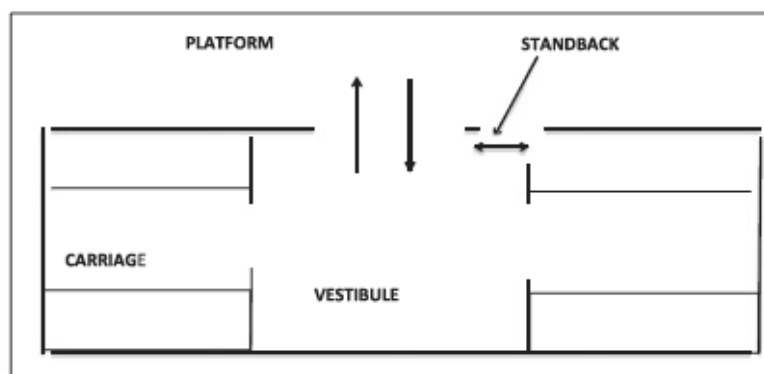
### 3.2.2.3 Platzverhältnisse

Der Busgrundriss hängt von dessen Breite und Länge ab. Bei Strassenfahrzeugen sind die Fahrzeuglängen durch die nationalen Vorschriften bestimmt. Gelenkbusse dürfen eine Länge von 18.75 m nicht überschreiten (Der Bundesrat 2017).

Aus der Literaturstudie wird klar, dass die Innenraumgestaltung von grosser Bedeutung ist. Diese beinhaltet die Gestaltung des Türbereiches, die Breite der Gänge zwischen den Sitzen und die Anordnung der Sitzplätze sowie von Podesten oder Treppen. Dadurch kann die Verteilung der Fahrgäste im Bus beeinflusst werden. Je gleichmässiger sich die Fahrgäste auf die Türen verteilen desto schneller kann der Fahrgastwechsel abgewickelt werden. Insbesondere die Gestaltung der Türbereiche ist wichtig, damit die Aussteiger auch bei einem hohen Auslastungsgrad möglichst wenig behindert werden. Zu beachten ist, dass die Türleistungsfähigkeit und die Leistungsfähigkeit der Gänge aufeinander abgestimmt werden müssen.

In einer aktuellen Studie wurde neben den Türbreiten der Abstand der Türe zu einer Führungswand „Standback“ (vgl. Abbildung 4) untersucht. Hierbei ergab sich, dass, wenn viele Fahrgäste aussteigen, der optimale Abstand 50 mm beträgt. Steigen jedoch mehr Fahrgäste ein als aus, ist es besser wenn der Abstand 300 mm bis 500 mm beträgt. Daraus folgt, dass bei der Innenraumgestaltung in Betracht gezogen werden muss, ob eher die Einsteigenden (Buslinie mit Verteilerfunktion) oder die Aussteigenden (Buslinie mit Sammelfunktion) konzentrierter auftreten (Thoreau, et al. 2017).

Abbildung 4: Innenraum einer Metro oder Bus



Quelle: Thoreau, 2017

### 3.2.2.4 Türen

Eine grosse Anzahl an Türen verbessert den Fahrgastwechsel und reduziert die Personenflüsse im Fahrzeug, da die Einzugsbreite der Türen kleiner wird. Die Türen minimieren jedoch den zur Verfügung stehenden Platz für Sitzplätze. Die Türbreite sollte so gross wie möglich sein, steht aber im Konflikt mit einem schnellen Öffnen und Schliessen sowie einem grossen Sitzplatzangebot (U. Weidmann 1994). Fahrzeugtüren weisen im Normalfall Breiten von 700 mm bis 1900 mm auf. Die Anordnung der Türen ist aufgrund der Radachsen eingeschränkt. Eine möglichst gleichmässige Anordnung über die Fahrzeuglänge ist aufgrund der Aufteilung der Fahrgäste von Vorteil. Die optimale Türverteilung ist dann erreicht, wenn das Verhältnis der Einzugsgebiete der Türe mit den Türleistungsfähigkeiten übereinstimmt (Weidmann, Grundlagen zur Berechnung der Fahrgastwechselzeit 1995). Da sich die Fahrgäste in der Regel nicht proportional zur Türleistungsfähigkeit auf die Türen verteilen, sind die Türen meistens nicht gleichmässig belastet. Dieses Ungleichgewicht in Bezug auf die Türbelastung führt zu einer Erhöhung der Fahrgastwechselzeit. Der Einfluss der Türen auf die Fahrgastwechselzeit wurde bereits in Kapitel 3.1.3 beschrieben.

### 3.2.3 Haltestellendesign

Beim Einfluss des Haltestellendesigns auf die Fahrgastwechselzeit sind unterschiedliche Literaturstudien zu finden. Laut Lenhoff und Janssen hat das Haltestellendesign einen untergeordneten Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit (Lehnhoff und Janssen 2003). In einer Studie von Weidmann ist die Fahrgastverteilung an der Haltestelle und somit das Haltestellendesign ein wichtiger Punkt (U. Weidmann, Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr 1994). Literatur zur Gestaltung von Haltestellen findet sich hauptsächlich in den Normen (z.B VSS 640880 „Bushaltestellen“). Empfehlungen zur Dimensionierung von Warteflächen sind zum Teil in der Literatur zum Fussgängerkehr oder im Behinderten-Gleichstellungsgesetz zu finden (Lanz, Renard und Ebinger 2005). Angaben zum Haltestellendesign in Bezug auf die Fahrgastwechselzeit gibt es jedoch nicht. Optimal ist, wenn sich die Fahrgäste entsprechend der Leistungsfähigkeit der Bustüren über die Warteflächen verteilen. Den Fahrgästen dient die Haltestelle hauptsächlich als Warte- und Informationsbereich. Um eine gleichmässige Verteilung über die Haltestellenlänge zu erreichen, müssen folgende, in den nächsten Unterkapiteln beschriebenen, Einflussfaktoren berücksichtigt werden:

Tabelle 4: Einflussfaktoren des Haltestellendesigns

Ausstattung	Lage	Platzverhältnisse	Zugang
Wartehalle	Strassenrand	Länge	Anzahl
Sitzbank	Insel	Breite	Anordnung
Ticketautomat	Busbucht	Wartefläche	
Beleuchtung			
Oberfläche			
Bodenmarkierung			

Quelle: Oben erwähnte Literatur und eigene Beobachtungen

### 3.2.3.1 Ausstattung

Die Ausstattung der Haltestelle kann die Verteilung der Fahrgäste stark beeinflussen. Sitzbänke und eine Wartehalle sind für die wartenden Fahrgäste attraktiv. Weiter kann bei Dunkelheit mit der Beleuchtung der Wartebereich der Fahrgäste beeinflusst werden. Die Oberfläche sollte eben und behindertengerecht sein, damit auch Fahrgäste mit Kinderwagen oder Rollstuhl sich entlang der Haltestelle aufstellen können.

### 3.2.3.2 Lage

Die Lage der Haltestelle und die vorhandenen Platzverhältnisse hängen eng zusammen. Eine Haltestelleninsel hat nur beschränkten Warteraum. Dieser sollte jedoch möglichst grosszügig bemessen werden, damit sich einzelne Fahrgäste nicht in den Gefahrenbereich der Strasse begeben oder auf der gegenüberliegenden Strassenseite warten müssen. Bei einer Busbucht steht oftmals mehr Platz zur Verfügung, wodurch die Warteflächen besser gestaltet werden können.

### 3.2.3.3 Platzverhältnisse

Es wird angenommen, dass die Länge der Haltekante einen Einfluss auf die Verteilung der Fahrgäste hat. Eine zu lange Haltekante führt zu stärkeren Personenflüssen beim Einfahren des Busses, da nicht alle Fahrgäste wissen, an welcher Stelle der Bus hält. Eine zu kurze Haltekante führt ebenfalls zu einer schlechten Verteilung der Fahrgäste, da alle an derselben Stelle warten. Dies führt zu einer ungleichmässigen Benützung der Türen.

### 3.2.3.4 Zugang

Beim Busverkehr liegt die Haltekante im Normalfall am Trottoir. Das Betreten des Trottoirs ist meistens von allen Seiten möglich, wobei die Strassenquerung auf den meisten Strassen nur

mit Fussgängerstreifen erlaubt und dadurch eingeschränkt ist. Manchmal gibt es Haltestellen, welche nur über eine Treppe erreichbar sind.

### 3.3 Lücken und Erkenntnisse

Die vielen Studien konzentrieren sich stark auf den Fahrgastwechsel und die direkten Einflussfaktoren darauf. Der Personenfluss im Fahrzeug und an der Haltestelle wurde nur in wenigen Studien betrachtet. Oft wird in den Untersuchungen zur Fahrgastwechselzeit ein optimaler Personenfluss vorausgesetzt. Das bedeutet, der Zulauf zu den Türen wird nicht behindert, was in der Realität jedoch nur selten auftritt.

Es fehlen Studien, welche die Auswirkungen des Fahrzeuglayouts von Bussen und des Haltestellendesigns auf die Fahrgastwechselzeit bzw. den Personenfluss erforschen. In Abbildung 5 wird versucht, die Einflussfaktoren auf die Personenflüsse und den Fahrgastwechsel umfassend darzustellen. Mit dieser Arbeit sollen einige dieser Lücken gedeckt werden, damit die Fahrgastwechselzeit im Busbetrieb optimiert werden kann.

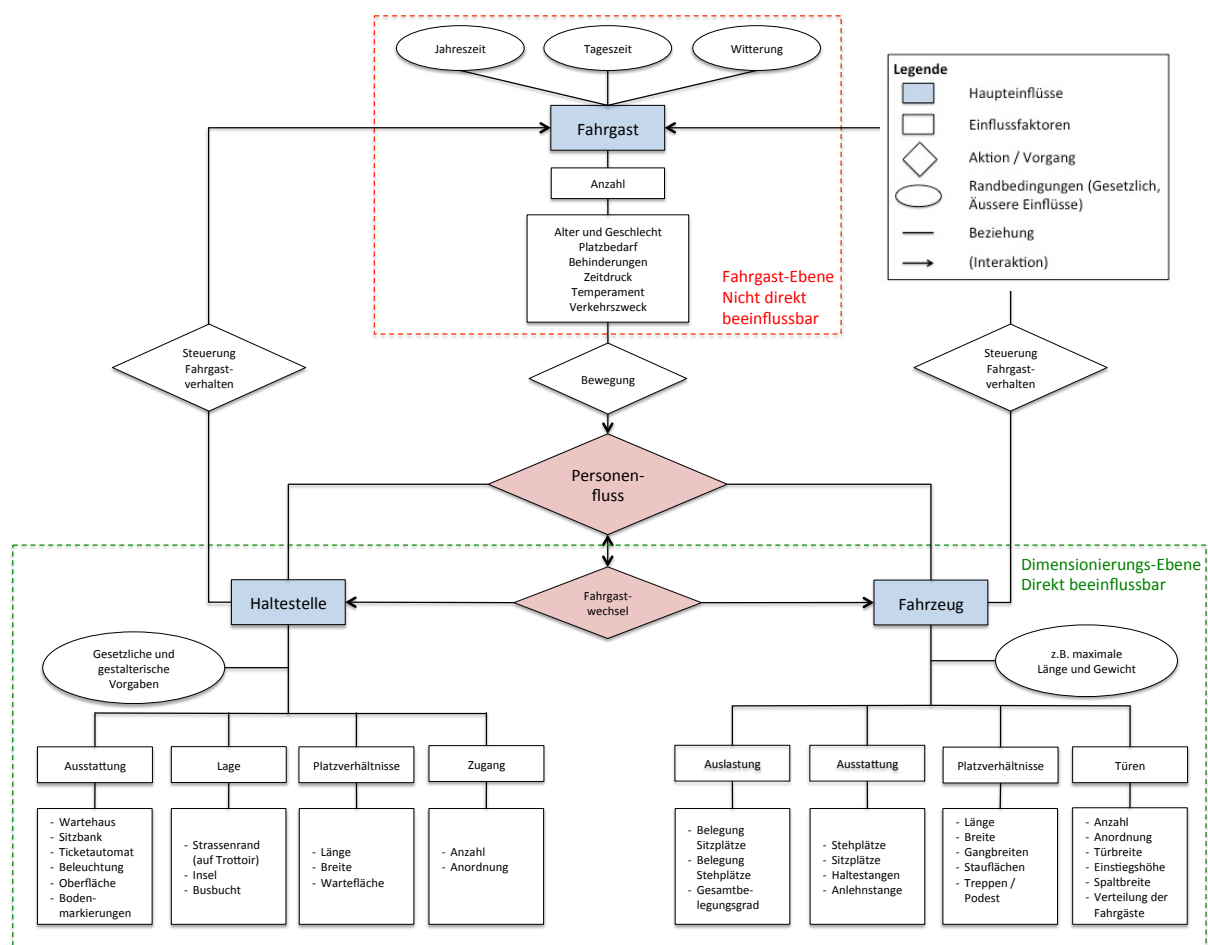
Der Fahrgastwechsel und der Personenfluss sind aufgrund der zahlreichen beeinflussbaren und nicht beeinflussbaren Faktoren komplex. Deswegen ist es schwierig, allgemeingültige Aussagen zu machen, welche auf alle Bussysteme zutreffen. Die analysierten Literaturstudien zum Fahrgastwechsel beschränken sich auf ein paar Einflussfaktoren. Daraus ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Mathematische Ansätze sind nur wenige zu finden, wobei der Ansatz von Weidmann verbreiteter und vertiefter ist als der Ansatz von Lenhoff und Jenssen.
- Für die Fahrgastwechselzeit sind insbesondere die Eigenschaften der Türe interessant, weswegen sich die meisten Studien darauf fokussieren. Hauptsächlich sind dies die Türbreite, die Einstiegshöhe und der horizontale Abstand. Die Mehrheit der Aussagen sind jedoch auf bestimmte Fahrzeugtypen beschränkt und unter bestimmten Randbedingungen durchgeführt worden, weshalb sie mit Vorsicht zu betrachten sind.
- Das Verhalten des Fahrgastes kann nicht direkt beeinflusst werden. Jedoch kann es durch die Gestaltung des Fahrzeuginnenraumes und der Haltestelle gesteuert werden.
- Das Fahrzeuglayout wurde in den bisherigen Studien kaum betrachtet. In der Regel wurden die Annahmen getroffen, dass sich die Aussteiger beim Fahrgastwechsel bereits an der Türe befinden und direkt aussteigen können. Massgebende Einflussfaktoren sind in der Abbildung 5 zu finden.
- Das Haltestellendesign spielt laut Lenhoff und Jenssen eine untergeordnete Rolle beim Fahrgastwechsel. Die Fahrgastverteilung an der Haltestelle ist jedoch ein wichtiger Aspekt, um einen raschen Fahrgastwechsel zu ermöglichen. Insbesondere bei

langgestreckten Halteketten (Fließketten) ist es wichtig, dass die Fahrgäste an der richtigen Stelle warten.

Dadurch, dass in dieser Arbeit reale Daten zur Verfügung stehen, besteht die Möglichkeit, einzelne Aussagen aus Studien zu überprüfen und allfällige Unterschiede festzustellen. Aufgrund der unterschiedlichen Bustypen bei Stadtbuss Winterthur sollte der Einfluss der Innenraumgestaltung auf die Fahrgastwechselzeit und den Personenfluss im Fahrzeug untersucht werden können.

Abbildung 5: Einflussfaktoren auf die Personenflüsse



Quelle: Eigene Darstellung

## 4 Stadtbus Winterthur

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die Fahrzeuge und Haltestellen von Stadtbus Winterthur, welche in dieser Arbeit untersucht werden, geben.

### 4.1 Allgemein

Stadtbus Winterthur ist eine marktverantwortliche Verkehrsunternehmung des Zürcher Verkehrsbundes (ZVV). Bei Stadtbus Winterthur arbeiten knapp 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, welche für ein umfassendes ÖV-Netz in Winterthur und Umgebung sorgen (Stadtbus Winterthur 2013). In der Stadt Winterthur wurden im Jahr 2015 25'225'708 Personen befördert (Stadtbus Winterthur 2015). Auf Stadtgebiet gibt es 287 Halteketten, welche von 91 Bussen bedient werden. 61 dieser Busse sind Gelenkbusse, davon 34 Trolleybusse (Stadtbus Winterthur 2016). Die Gelenktrolleybusse bedienen die Linien 1, 2 und 3. Die restlichen Linien werden von den Gelenk- und Autobussen betrieben.

### 4.2 Fahrzeuge

In dieser Arbeit werden nur die Gelenktrolleybusse und Gelenkautobusse betrachtet (vgl. Aufgabenstellung). In Winterthur werden vier verschiedene Gelenkbusse eingesetzt, ein fünftüriges und drei viertürige Modelle (vgl. Abbildung 6). Die Innenbereiche hinter dem Gelenk sind aufgrund der Türanordnung ähnlich aufgebaut. Je nach Bustyp steht mehr oder weniger Stehfläche zur Verfügung. Im vorderen Bereich weicht vor allem der fünftürige Bus stark von den anderen viertürigen Bustypen ab, da eine zusätzliche Türe angeordnet ist. Die verschiedenen Bustypen sind in diesem Kapitel zusammengefasst. Die wichtigsten Eigenschaften sind in Tabelle 5 zu finden. Die vollständigen Pläne der Busse sind in Anhang 2 zu finden.

Für die Fahrzeuge wird eine Berechnung der Sitz- und Stehplatzverteilung durchgeführt. Hierfür wird der Bus in einen vorderen und hinteren Bereich eingeteilt, wobei der Gelenkbereich zum hinteren Bereich gezählt wird, da der Zugang zum Gelenk von den hinteren Türen in der Regel einfacher ist. Bei allen Bussen sind hinter dem Gelenk zwei Türen vorhanden. Vor dem Gelenk befinden sich bei den viertürigen Bussen zwei und beim fünftürigen Bus drei Türen. Zwischen der zweiten respektive dritten Türe beim fünftürigen Bus und dem Gelenk ist bei allen Bustypen ein schmaler Gang vorhanden, welcher bereits durch einen stehenden Fahrgast versperrt werden kann. Mit Hilfe der Stehplatzfläche, welche aus den zur Verfügung stehenden Plänen bestimmt wird, werden die Stehplätze dem vorderen und dem hinte-



ren Bereich zugeordnet. Eine detaillierte Untersuchung zu den unterschiedlichen Bustypen ist in Anhang 3 zu finden.

Tabelle 5: Wichtigste Eigenschaften der Gelenkbusse von Stadtbus Winterthur

	<b>MAN Lion's City</b>	<b>Solaris Urbino 18</b>	<b>Solaris Trollino 18</b>	<b>Hess Swisstrolley 3</b>
Inbetriebnahme	04.2016	2002 / -08 / -11	2005	2010
Anzahl Türen	5	4	4	4
Türbreiten (von vorne nach hinten)	900 mm / 4 x 1350 mm	4 x 1350 mm	4 x 1350 mm	820 mm / 3 x 1200 mm
Länge	18.75 m	18 m	18 m	18.6 m
Breite	2.5 m	2.55 m	2.55 m	2.55 m
Sitzplätze	39	44	47	44
Stehplätze	115	110	84	113
Plätze total	154	138 bis 153	131	157
Plätze vorne*	83	71	58	69
Plätze hinten*	71	82	73	87
Antrieb	Diesel	Diesel	Elektro	Elektro
Inventar [Stück]	9	18	10	24

Quelle: <https://stadt.winterthur.ch/stadtbus/ueber-uns/fahrzeugpark>

\*) Eigene Berechnung, siehe Anhang 3

Abbildung 6: Die vier Gelenkbustypen: Lion's City (oben links), Solaris Urbino 18 (oben rechts), Hess Swisstrolley 3 (unten links) und Solaris Trollino 18 (unten rechts)



Quelle: (Stadt Winterthur 2017) ausser der Lion's City: <http://www.busbild.de/bild/schweiz~staedte~winterthur/140976/stadtbus-winterthur-nr-355-man-a40.html>

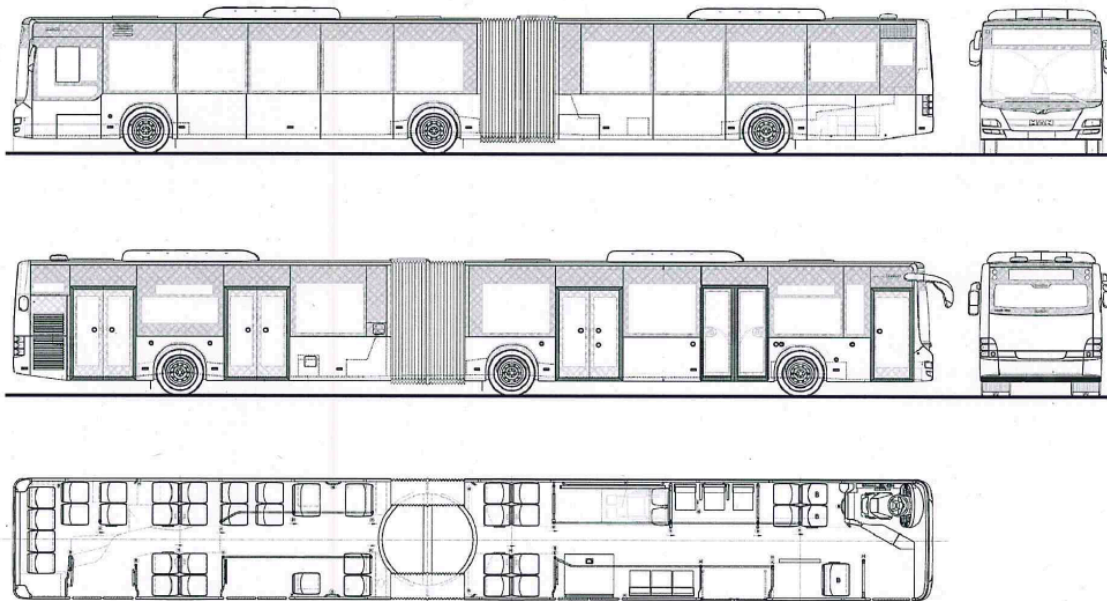
#### 4.2.1 MAN Lion's City

Der MAN Lion's City ist ein 18.75 m langer Dieselbus. Im Vergleich zu den viertürigen Bussen ist er nur 2.5 m breit. Er ist der erste Bus in der Schweiz, welcher fünf Türen aufweist. Die vorderste Türe weist eine Breite von 900 mm auf, die hinteren vier Türen haben eine Breite von 1350 mm. Bei diesem Bus weicht der Bereich vor dem Gelenk aufgrund der zusätzlichen Türe vom Bereich bei den viertürigen Bustypen ab. Im hinteren Bereich des Busses sind wie bei den anderen Gelenkbustypen zwei Türen vorhanden (vgl. Abbildung 7).

Dieser Bus weist im vorderen Bereich nur 13 fix installierte Sitzplätze auf, weitere 8 können heruntergeklappt werden. Im Gegensatz dazu sind bei den viertürigen Bustypen über 20 Sitzplätze fix installiert. Der Grund für die reduzierte Anzahl Sitzplätze im Lion's City ist einerseits die zusätzliche Tür, welche Platz beansprucht, andererseits ist der vordere Teil geräumig und es steht eine grosse Podestfläche zur Verfügung. Der Bus hat im vorderen Bereich eine Kapazität von 83 Plätzen (Sitz- und Stehplätze), während der hintere Bereich nur 71 Plätze aufweist. Dadurch, dass der vordere Bereich drei Türen hat, ist es sinnvoll, dass

dort mehr Plätze vorhanden sind. Dieser Bustyp ist der einzige, welcher im vorderen Bereich eine höhere Kapazität hat als im hinteren Bereich. Pro Meter Türbreite steigen im vorderen Bereich 22.8 Personen, im hinteren Bereich 26.7 Personen aus (vgl. Anhang 3). Dies bedeutet, dass bei einem vollständig ausgelasteten Bus der Fahrgastwechsel im hinteren Bereich länger dauert.

Abbildung 7: Buslayout MAN Lion's City

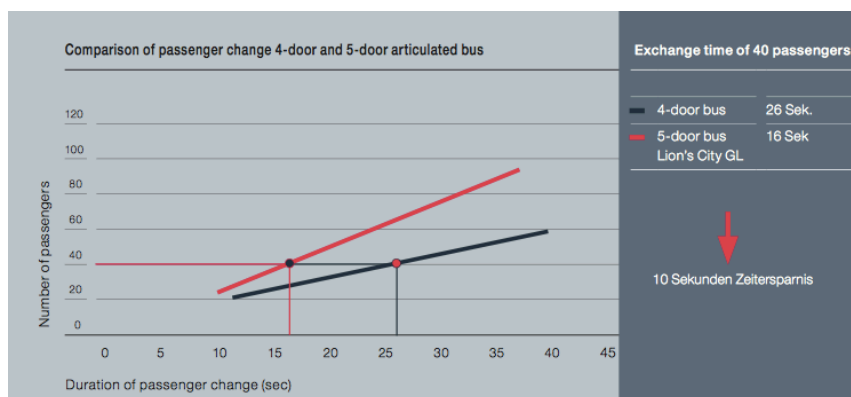


Quelle: Stadtbus Winterthur

Durch die herunterklappbaren Sitze ist der Verlust an Sitzplätzen nicht besonders gross. Wie bei allen Bustypen sind zwischen dem vorderen Bereich und dem Gelenk auf beiden Seiten Sitzplätze vorhanden, während in der Mitte ein Gang verläuft. Alle Gänge sind im Vergleich zu den anderen Bustypen kürzer. Dadurch sollten die Gänge weniger oft durch Fahrgäste versperrt sein, was die Fahrgastverteilung verbessern soll. Im hinteren Bereich sind zwischen dem Gelenk und der dritten Türe auf beiden Seiten Sitzplätze vorhanden. Aufgrund eines Tanks können die zwei Sitzplätze zwischen dem Gelenk und der dritten Türe nicht entfernt werden. Aus diesem Grund ist der Zugang zum Gelenk enger und der Zugang kann schneller versperrt werden.

Dank der zusätzlichen Türe soll die Fahrgastwechselzeit an einer Haltestelle laut Hersteller MAN um bis zu 38% reduziert werden können (vgl. Abbildung 8) (MAN Truck & Bus AG 2017). Dieser Wert scheint relativ hoch. In einer Studie an der technischen Universität in Göttingen wurde in Experimenten festgestellt, dass bei einem Gelenkbus ein Ausbau von drei- auf viertürig eine Minimierung der Fahrgastwechselzeit von lediglich bis zu 20% zur Folge hat (Rexfelt, et al. 2014).

Abbildung 8: Auswirkungen der zusätzlichen Türe auf die Fahrgastwechselzeit



Quelle: MAN Truck & Bus AG, Lion's City

#### 4.2.2 Solaris Urbino 18

Der Solaris Urbino 18 ist der zweite Dieselbus von Stadtbus Winterthur. Mit 18 m Länge ist er 0.75 m kürzer als der MAN Lion's City und hat eine Türe weniger. Die vier Türen weisen eine Breite von 1350 mm auf (vgl. Abbildung 9). Bei der zweiten Türe ist aufgrund der Klappsitzplätze viel Stehfläche vorhanden. Bei der dritten Türe direkt hinter dem Gelenk sind in dessen Richtung nur Klappsitze installiert, was für zusätzlichen Platz und einen besseren Personenfluss sorgen soll. Für Fahrgäste mit Kinderwagen oder Gepäck steht somit sowohl an der zweiten wie auch an der dritten Türe Platz zur Verfügung.

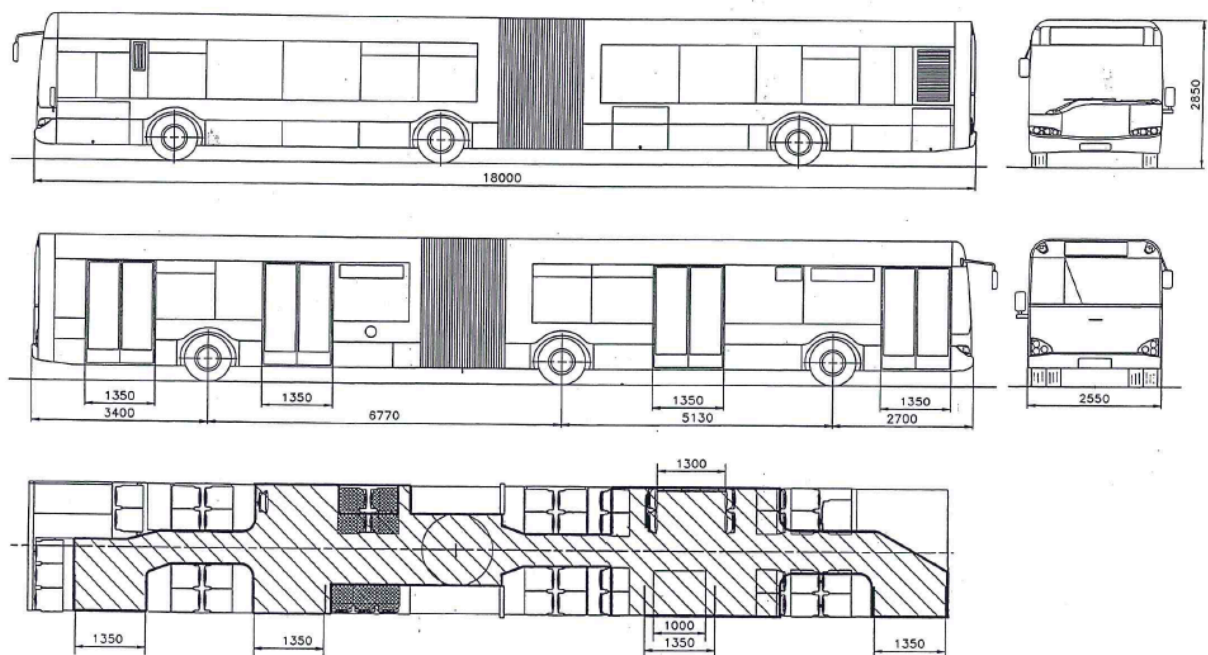
Beim Urbino 18 gibt es drei verschiedene Versionen, welche sich in der Anzahl Sitz- und Stehplätze unterscheiden (vgl. Tabelle 6). Die Nummerierung der Busse ist nicht durchgehend, es gibt keine Busse mit den Nummern 339 bis 341. Die Kapazität im Solaris Urbino variiert zwischen 138 und 153. Die Unterschiede in der Innenraumgestaltung sind im vorderen Bereich zu finden. Die Busse Nr. 331 bis 338 weisen in diesem Bereich eine eher kleine Stehplatzfläche auf. Die Busse 341 bis 345 und 346 bis 350 weisen zwar mehr freie Fläche auf, ein Teil davon ist jedoch Sperrfläche (Behindertenplätze, gestrichelte Linie in Abbildung 10), womit die geringere Personenkapazität zu begründen ist. In der Realität wird diese Sperrfläche bei hoher Auslastung trotzdem als Stehplatzfläche benutzt. Aufgrund der vier gleichbreiten Türen (zwei im vorderen, zwei im hinteren Bereich) ist eine gleichmässige Verteilung der Kapazität sinnvoll. Mit 46% (71 Plätze) der Kapazität im vorderen und 54% (82 Plätze) im hinteren bei total 153 Plätzen ist dies nicht komplett erfüllt. Dies bedeutet, dass im vorderen Bereich 26.3 P/m' und im hinteren Bereich 30.4 P/m' aussteigen. Dadurch dauert bei einem vollen Bus der Fahrgastwechsel an der hinteren Türe länger (vgl. Anhang 3). Für die Verständigung werden in dieser Arbeit für die unterschiedlichen Solaris Urbino Typen folgende Bezeichnung verwendet:



Tabelle 6: Bezeichnung der unterschiedlichen Solaris Urbino Modelle für die Arbeit

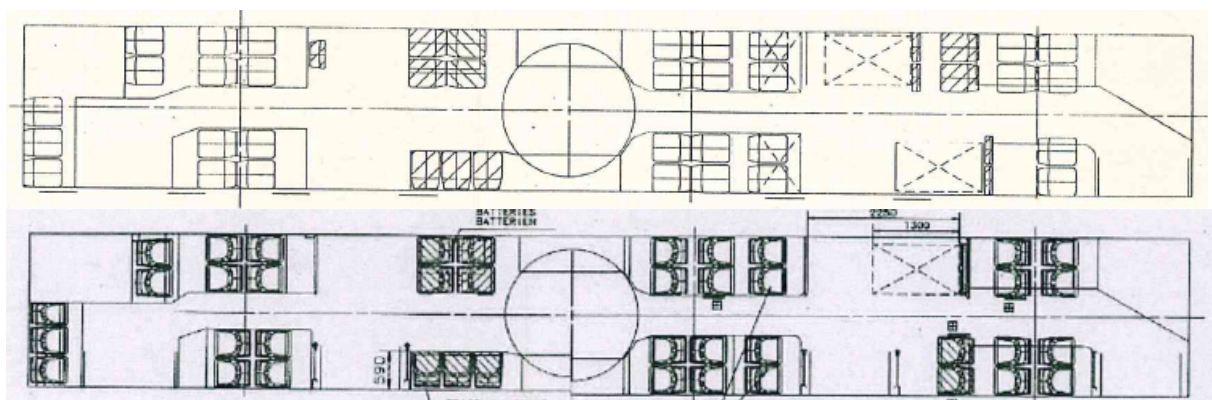
Bus Nr. 331 – 338	Bus Nr. 341 - 345	Bus Nr. 346 - 350
Solaris Urbino Typ 1	Solaris Urbino Typ 2	Solaris Urbino Typ 3

Abbildung 9: Buslayout Solaris Urbino 18 (Nr. 331-338)



Quelle: Stadtbus Winterthur

Abbildung 10: Innenraumgestaltung der Solaris Urbino Nr. 341-345 (oben) und Nr. 346-350 (unten)

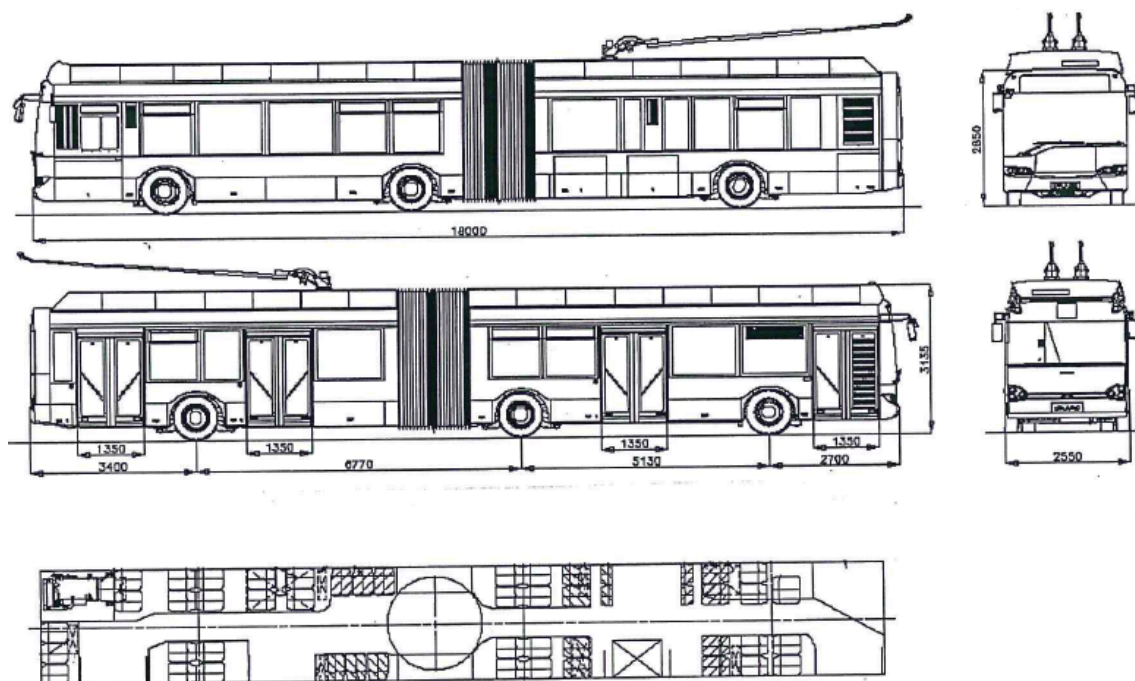


Quelle: Stadtbus Winterthur

### 4.2.3 Solaris Trollino 18

Der Solaris Trollino 18 ist von den Dimensionen und der Türanordnung identisch zum Solaris Urbino 18. Der Unterschied liegt im Antrieb und der Innenraumgestaltung. Während der Urbino mit einem Dieselmotor ausgestattet ist, wird der Trollino mit Strom betrieben. Alle vier Türen weisen eine Breite von 1350 mm auf. Die Innenraumgestaltung ist beim vorderen Teil gleich wie beim Solaris Urbino Typ 1 (vgl. Kapitel 4.2.2), im hinteren Teil gibt es Unterschiede bei der Sitzplatzanordnung (vgl. Abbildung 11). Im Trollino sind zwischen dem Gelenk und der dritten Türe nur Sitzplätze entlang der Aussenwand des Fahrzeuges angeordnet, was für zusätzlichen Platz sorgt. Hingegen ist bei der dritten Türe nur wenig Staufläche vorhanden, da gegenüber der Türe ein Viererabteil eingebaut ist. Dies macht es für Fahrgäste mit Kinderwagen oder Gepäck schwierig, einzusteigen. Laut den Dokumenten von Stadtbus Winterthur hat der Solaris Trollino 18 im Vergleich zu den anderen Solaris Modellen deutlich weniger Stehplätze zur Verfügung (84 im Vergleich zu 110). Der Grund hierfür ist, dass mehr Sitzplätze vorhanden sind (46 im Vergleich zu 43) und dadurch im Busgrundriss grössere Stehflächen fehlen. Die Verteilung der Fahrgäste im Bus ist ungleichmässig. Im hinteren Bereich stehen 73 Plätze zur Verfügung, während der vordere Bereich nur 58 Plätze aufweist (vgl. Anhang 3). Dies entspricht 21.5 P/m' Türbreite im vorderen gegenüber 27 P/m' im hinteren Bereich. Dadurch wird der Fahrgastwechsel im hinteren Bereich bei voller Auslastung des Fahrzeuges länger dauern. Dies kann zu einer Verlängerung der Fahrgastwechselzeit führen. Die Gänge sind gleich lang und gleich breit wie bei den Solaris Urbino Modellen.

Abbildung 11: Buslayout Solaris Trollino 18



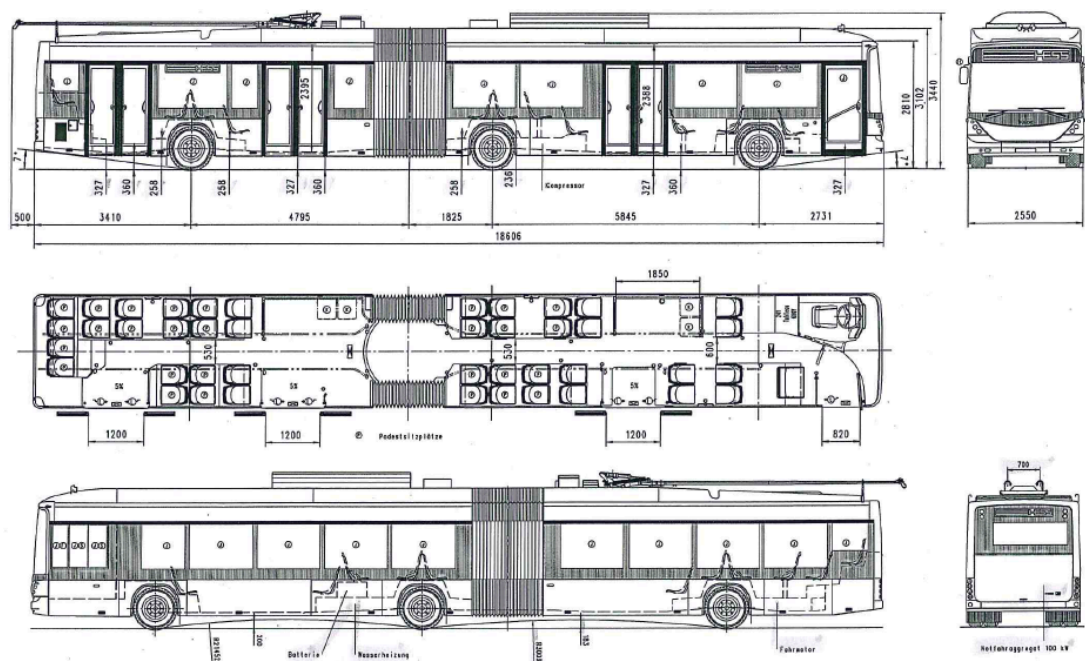
Quelle: Stadtbus Winterthur

#### 4.2.4 Hess Swisstrolley 3

Der Hess Swisstrolley 3 weist ebenfalls vier Türen auf. Im Vergleich zu den anderen Bussen sind die Türen schmaler. Die Türe beim Fahrer ist 820 mm breit, während die hinteren drei Türen einer Breite von 1200 mm entsprechen (vgl. Abbildung 12). Der Bus ist mit 18.6 m ein wenig länger als der Solaris Urbino. Aufgrund der Länge und den schmaleren Türen ist im vorderen Bereich direkt vor dem Gelenk Platz für eine zusätzliche Sitzreihe. Im hinteren Bereich ist die dritte Türe im Vergleich zu den anderen Bussen weiter vorne. Dadurch ist zwischen der Türe und dem Gelenk weniger Platz vorhanden und es wird auf Sitzplätze verzichtet. Die Personen sollen mit dieser Massnahme in den Innenbereich Richtung Gelenk geführt werden, damit sie nicht die Türe versperren. Durch die Türanordnung und die schmaleren Türen ist im hinteren Bereich des Busses mehr Platz für Sitzplätze vorhanden.

Im Vergleich zu den anderen Bustypen weist der Hess Swisstrolley längere Gänge auf. Insbesondere der Gang zwischen der zweiten Türe und dem Gelenk ist mit 3.4 m sehr lang. Die langen Gänge sind für die Fahrgäste nicht attraktiv, da die Gänge schnell versperrt sind und beim Aussteigevorgang aufgrund der schmalen Gangbreite von 0.6 m den Weg zur Türe erschweren. Deswegen wird die rückwärtsgerichtete Sitzreihe vor dem Gelenk bereits zum hinteren Bereich des Fahrzeuges gezählt. Der hintere Bereich weist dadurch mit 87 Plätzen eine deutlich höhere Kapazität auf als der vordere Bereich mit 69 Plätzen. Aufgrund der schmalen Türen und der hohen Kapazität dieses Busses steigen bei einem vollen Bus viele Fahrgäste pro Meter Türbreite (34.2 P/m' vorne und 36.3 P/m' hinten) aus, was die Fahrgastwechselzeit im hinteren Bereich bei einer hohen Auslastung erhöhen kann.

Abbildung 12: Buslayout Hess Swisstrolley 3



Quelle: Stadtbus Winterthur

#### 4.2.5 Erkenntnisse

Die Untersuchung der Buslayouts basiert auf der Annahme, dass der Bus komplett ausgelastet und die Fahrgäste entsprechend der Sitzplätze und der verfügbaren Stehplatzfläche verteilt sind (gemäss Kapazitätsangaben von Stadtbus Winterthur). Es hat sich gezeigt, dass der Hess Swisstrolley 3 am schlechtesten abschneidet (vgl. Anhang 3). Dies hat folgende Ursachen:

- Schmalere Türen im Vergleich zu den anderen Busmodellen
- Lange und eher schmale Gänge
- Ungleichmässige Verteilung der Fahrgastkapazität

Auch der Solaris Trollino schneidet aufgrund von folgenden Punkten schlecht ab:

- Wenig Stehplatzfläche aufgrund von vielen Sitzplätzen
- Geringe Kapazität im Vergleich zu den anderen Bustypen
- Höhere Stehplatzdichte bei hohem Personenaufkommen, da weniger Stehplatzfläche zur Verfügung steht
- Hohe Differenz der Fahrgastwechselzeit pro Türbreite zwischen vorderem und hinterem Bereich

Unter der Annahme, dass die Personen im Gelenk an den hinteren Türen aussteigen, zeigt sich bei allen vier Bustypen, dass der Fahrgastwechselvorgang bei einem vollen Bus im hinteren Bereich länger dauert als vorne. Die Ursache ist, dass der hintere Bereich abgesehen vom Lion's City eine höhere Kapazität aufweist. Der fünftürige Bus weist im vorderen Bereich eine höhere Kapazität, jedoch auch drei Türen, auf. Dies führt ebenfalls zu einem proportional längeren Fahrgastwechselvorgang hinten, da dort nur zwei Türen zur Verfügung stehen.

Die empirische Untersuchung in Anhang 3 deutet darauf hin, dass der Lion's City und der Solaris Urbino in Bezug auf den Personenfluss im Fahrzeug und der Innenraumgestaltung am besten abschneiden. In dieser Arbeit wird sich zeigen, ob dies mit den vorhandenen Daten und Beobachtungen belegt werden kann. Jedoch müssen beim Urbino die unterschiedlichen Typen betrachtet werden, um allfällige Unterschiede festzustellen.

Bei allen Bussen sind die Einzugsbereiche der mittleren Türen grösser als die Einzugsbereiche an der vordersten und hintersten Türe. Die Einzugsbereiche der Türen beim fünftürigen MAN sind im Vergleich zu den viertürigen Modellen zum Teil über einen Meter kürzer pro Türe. Dies deutet darauf hin, dass die Fahrgäste beim MAN deutlich schneller bei den Türen sind. Unterschiede sind vor allem im vorderen Bereich zu erkennen, da dort die zusätzliche Türe eingebaut ist. Doch auch im hinteren Bereich sind die Einzugsbereiche kürzer. Dies sollte für einen besseren Zulauf der Aussteiger zu den Türen sorgen und dadurch die Fahrgastwechselzeit verringern (vgl. Anhang 3).



## 4.3 Haltestellen

Stadtbus Winterthur unterhält 287 Haltestellenkanten. Das Haltestellendesign ist von Haltestelle zu Haltestelle unterschiedlich (Stadt Winterthur 2017). Bei der Haltestellengestaltung spielen verschiedene Einflussfaktoren eine Rolle (vgl. Kapitel 3.2.3). Die Grösse der Haltestelle ergibt sich aus dem Personenaufkommen und der Frequentierung der Buslinien. Die Länge der Haltekante variiert, je nachdem wie viele Busse an der Haltestelle verkehren. Oft ist die räumliche Gestaltung durch den Strassenraum und die zur Verfügung stehenden Platzverhältnisse eingeschränkt. In der Regel ist eine Überdachung oder eine Wartehalle vorhanden, jedoch ist dies nicht bei allen Haltestellen der Fall.

Die wichtigste Haltestelle im Netz von Stadtbus Winterthur ist der Hauptbahnhof. Diese ist die am stärksten frequentierte Haltestelle, sie weist total 12 Haltekanten (A-D, F-I, M, N, P) auf. Die Trolleybusse verkehren an den Haltekanten A bis D, die weiteren Haltekanten sind für Autobusse vorgesehen. Die Busse warten allfällige Verfrühungen im Fahrplan oft am Hauptbahnhof ab, weswegen diese Haltestelle für die Untersuchung der Fahrgastwechselzeit nicht geeignet ist. Gemäss Stadtbus Winterthur gibt es auf dem Stadtnetz weitere Haltestellen, wo Fahrplanabweichungen korrigiert werden können. Ausschlaggebend ist die Überholbarkeit durch den motorisierten Individualverkehr (MIV). Wird der Bus auf einer Busspur geführt, ergeben sich deutlich bessere Rahmenbedingungen für die Planbarkeit des Fahrplans. Verfrühungen an der letzten Haltestelle vor dem Hauptbahnhof werden nicht mehr abgewartet, unabhängig davon, ob überholt werden kann oder nicht (Nef 2017).

Bei der Auswahl der Haltestellen für diese Arbeit wird darauf geachtet, dass alle Gelenkbusstypen an diesen Haltestellen verkehren, damit die Bustypen haltestellenspezifisch und richtungstrennt verglichen werden können. Die untersuchten Haltestellen sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Untersuchte Haltestellen in dieser Arbeit

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Gaswerk</li><li>• Loki</li><li>• Brühleck</li><li>• Sulzer</li><li>• Schmidgasse</li><li>• Stadthaus</li><li>• Obertor</li><li>• Zentrum Töss</li></ul> |
|---|

In Anhang 4 sind diese Haltestellen detailliert aufgeführt und charakterisiert. Die Charakterisierung der Haltestellen wird beim Vergleich der einzelnen Haltestellen benötigt. Insbesondere

re die Länge der Haltekante und die Anordnung der Wartefläche spielt eine wichtige Rolle. Diese unterscheiden sich von Haltestelle zu Haltestelle stark (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 13: Beispiel von zwei untersuchten Haltestellen: Brühleck stadteinwärts (links) und Schmidgasse stadtauswärts (rechts)



Quelle: Eigene Aufnahmen

## 5 Untersuchung

Für Stadtbus Winterthur ist es von grossem Interesse, den fünftürigen Bus mit den viertürigen Bussen in Bezug auf die Fahrgastwechselzeit zu vergleichen.

Aus der theoretischen Gegenüberstellung des fünftürigen mit dem viertürigen Bus ergibt sich eine Hypothese zur Fahrgastwechselzeit. Für die Bearbeitung dieser Hypothese werden Ansätze aus der Literatur (vgl. Kapitel 3), Daten von Stadtbus Winterthur sowie Datenerhebungen vor Ort verwendet. Anschliessend werden die Erkenntnisse der bearbeiteten Hypothese für zwei ausgewählte Bereiche vertieft. Dazu werden weitere Beobachtungen vor Ort durchgeführt.

Für die Beantwortung der Zielsetzungen werden Prioritäten gesetzt:

1. Untersuchung der Fahrgastwechselzeit bei vier- und fünftürigen Bussen
2. Untersuchung der Innenraumgestaltung und der Belegungsgrade im Fahrzeug
3. Untersuchung des Haltestellendesigns und dessen Einfluss auf den Fahrgastwechsel

In diesem Kapitel werden die Hypothese zur Fahrgastwechselzeit und dessen Vertiefungen erläutert sowie das Erhebungs- und Auswertungskonzept vorgestellt. Die Auswertung erfolgt in Kapitel 6.

### 5.1 Berücksichtigte Einflussfaktoren

In dieser Arbeit kann nicht auf alle Einflussfaktoren aus Kapitel 3.1.2 eingegangen werden. Deshalb werden die wichtigsten berücksichtigten Faktoren kurz erläutert.

Bei der Untersuchung der Bustypen und der Fahrgastwechselzeit spielt die Türe eine wichtige Rolle, weshalb die Anordnung und Anzahl der Türen sowie die Türbreite beachtet wird. Die Einstiegshöhe und der Abstand vom Bus zur Haltekante werden nicht berücksichtigt, da die Einstiegshöhe bei allen Bustypen von Stadtbus Winterthur ähnlich sind und der Abstand zur Haltekante fahrerabhängig ist. Hingegen wird im Innenraum die Aufteilung der Sitzplätze und Stehplätze beachtet. Diese wirken sich auf die Gangbreiten und Stauflächen aus und können dadurch eventuell die Fahrgastwechselzeit beeinflussen.

Das Fahrgastverhalten ist schwierig zu untersuchen, da aus den Daten nicht erkennbar ist, in welcher Situation sich die einzelnen Fahrgäste befunden haben. Deswegen können Faktoren wie das Alter und Geschlecht, das Temperament, der Verkehrszweck, der Zeitdruck sowie die Mobilitätseinschränkungen einzelner Fahrgäste nicht berücksichtigt werden.

Die unterschiedlichen Einflüsse beim Haltestellendesign werden für die Untersuchung der einzelnen Haltestellen berücksichtigt.

## 5.2 Fahrgastwechselzeit

*„Aufgrund der zusätzlichen fünften Türe des MAN Lion's City Gelenkbusses kann der Fahrgastwechsel gegenüber den viertürigen Gelenkbussen beschleunigt und dadurch die Haltezeit reduziert werden.“*

Laut Lenhoff und Janssen definiert sich die Haltezeit aus der Zeit vom Stopp des Busses bis zum Beginn des Fahrgastwechsels, der Zeit des Fahrgastwechsels und der Zeit bis zur Abfahrt des Fahrzeuges (Lenhoff und Janssen 2003). Beim fünftürigen Gelenkbus Lion's City soll der Fahrgastwechsel gemäss Angaben des Herstellers aufgrund der zusätzlichen Türe um 36 % gegenüber viertürigen Bussen beschleunigt werden (vgl. Kapitel 4.2.1). In dieser Arbeit wird untersucht, ob diese Aussage mit den Daten von Stadtbus Winterthur bestätigt werden kann.

Für die Fahrplangestaltung ist an jeder Haltestelle eine Haltezeit vorgegeben. Durch die Reduzierung der Fahrgastwechselzeit kann die Haltezeit der Busse verkürzt werden, was die Produktivität steigert. Zudem kann die Situation an kritischen Haltestellen, wo die geplante Fahrgastwechselzeit oft überschritten wird, verbessert werden. Der fünftürige Gelenkbus sollte bei einem grossen Fahrgastwechsel das Überschreiten der Haltezeit verhindern oder zumindest verkleinern.

## 5.3 Vertiefung Fahrzeuglayout und -auslastung

*„Ein offener Zugang zum Gelenk im hinteren Bereich des Busses führt zu einer besseren Fahrgastverteilung im Fahrzeug.“*

Nach der Untersuchung der in Kapitel 5.2 erstellten Hypothese zur Fahrgastwechselzeit, wird nun ein ausgewählter Bereich vertieft. Unter Einbezug der Ergebnisse aus der Untersuchung der Fahrgastwechselzeit und den Zielsetzungen aus der Aufgabenstellung (vgl. Kapitel 1.2) wird die Innenraumgestaltung und der Einfluss der zusätzlichen fünften Türe analysiert. Dabei wird der Schwerpunkt auf das Gelenk gelegt, da dieses einen grossen Einfluss auf die Fahrgastverteilung im Fahrzeug hat.

Für die Überprüfung der Auslastung können aufgrund der beschränkten Zeit und der zu hohen betrieblichen Aufwände von Stadtbus Winterthur nicht alle vier Bustypen miteinander verglichen werden. Deshalb werden für die vertiefte Untersuchung zwei Bustypen ausgewählt, wobei einer der fünftürige Bus ist. Der zweite untersuchte Bus wird in Kapitel 5.5.2

ausgewählt. Zusätzlich zur Hypothese sollen noch die Fragestellungen aus der Aufgabenstellung zum Sitzplatzbelegungsgrad und Gesamtbefüllungsgrad beantwortet werden.

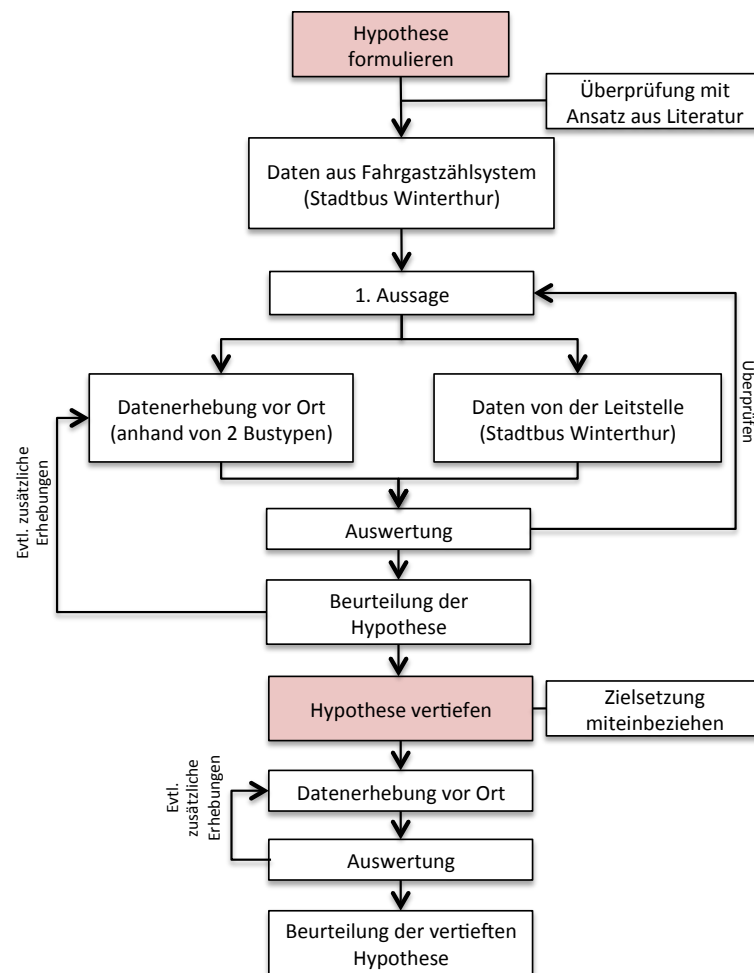
## **5.4 Vertiefung Haltestellendesign**

Das Ziel dieser Vertiefung ist es, die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Haltestelle anhand der erhaltenen Daten und Beobachtungen vor Ort zu bestimmen. Da nur wenig Zeit für diese Untersuchung zur Verfügung steht, wurde nach Absprache mit den Betreuern entschieden, dass das Haltestellendesign nur oberflächlich untersucht wird. Für diese Vertiefung keine Hypothese aufgestellt. Für die Untersuchung spielen die Fahrgastwechselzeiten an den unterschiedlichen Haltestellen eine wichtige Rolle. Diese werden bereits für die Hypothese zur Fahrgastwechselzeit ausgewertet. Mit Hilfe von diesen Resultaten sollen die Haltestellen charakterisiert und die bedeutendsten Einflüsse evaluiert werden.

## **5.5 Erhebungskonzept**

In diesem Kapitel wird das Vorgehen für die Datenerhebung bei den oben aufgestellten Hypothesen und der Untersuchung des Haltestellendesigns beschrieben. Das allgemeine Vorgehen für die Untersuchung und die Beurteilung der Hypothese ist in Abbildung 14 zu sehen.

Abbildung 14: Schematische Darstellung des Vorgehens für die Untersuchung



Quelle: Eigene Darstellung

### 5.5.1 Fahrgastwechselzeit

Die Untersuchung der Hypothese zur Fahrgastwechselzeit basiert auf drei Schritten. Danach werden die gefundenen Resultate in einem weiteren Schritt in Bezug auf die Innenraumgestaltung und das Haltestellendesign vertieft untersucht (vgl. Kapitel 5.3 und 5.4).

Im ersten Schritt wird ein Ansatz aus der Literatur, welcher in Kapitel 3.1 beschrieben ist, beigezogen. Mit diesem wird die Fahrgastwechselzeit der vier- und fünftürigen Gelenkbustypen miteinander verglichen.

Im zweiten Schritt werden die von Stadtbus Winterthur gemessenen Daten untersucht. Von Stadtbus Winterthur stehen folgende Daten (vgl. Kapitel 5.5.1.3) zur Verfügung:

- Daten aus dem automatischen Fahrgastzählsystem
- Aufgezeichnete Haltezeiten der Leitstelle

Der Ansatz aus der Literatur und die Untersuchung der Daten aus dem Fahrgastzählssystem wird auf alle Bustypen angewandt. Da die Haltezeiten der Leitstelle aufwändig aufzubereiten sind, werden ab diesem Schritt nur noch der fünftürige MAN und ein zweiter Bustyp, welcher nach der Auswertung der Daten aus dem automatischen Fahrgastzählssystem definiert wird, untersucht.

Im dritten Schritt werden die Resultate mit spezifischen Beobachtungen vor Ort und Messungen zur Fahrgastwechselzeit überprüft. Die Beobachtungen werden ausschliesslich für die zwei ausgewählten Bustypen durchgeführt.

### 5.5.1.1 Stichprobenumfang

Für die Datenerhebung werden Stichproben durchgeführt. In dieser Arbeit werden konzeptionelle Aussagen zum Fahrgastwechsel gemacht. Mit den Daten von Stadtbus Winterthur sind eventuell auch repräsentative Aussagen möglich, weshalb der Stichprobenumfang berechnet wird. Die Grundgesamtheit beschreibt die Anzahl Stopps eines Busses an einem Tag. Als Referenz wird hierfür die Buslinie 1 in Winterthur herangezogen. Die Berechnung ist in Anhang 5 zu finden.

$$n > \frac{z^2 * \theta * (1 - \theta) * N}{(\Delta\theta)^2 * (N - 1) + z^2 * \theta * (1 - \theta)}$$

mit Grundgesamtheit  $N = 1232$  (Anzahl Stopps pro Bus und Tag)

$z=1.96$  für Konfidenzintervall von 95%

Grundgesamtheitsanteilwert = 0.7

$\Delta\theta = 0.05$  (1- Konfidenzintervall(=0.95))

Aus dieser Berechnung ergibt sich ein Stichprobenumfang von 256.

Aus dem automatischen Fahrgastzählssystem sind genügend Daten von mehreren Monaten vorhanden, welche eine repräsentative Aussage ermöglichen.

Vor Ort werden zusätzliche Messungen zur Überprüfung der Fahrgastwechselzeit durchgeführt. Es wird jedoch nicht möglich sein, genügend Messungen durchzuführen. Allerdings besteht die Möglichkeit, diese Messungen direkt mit den Resultaten aus dem Fahrgastzählssystem und den Haltezeiten der Leitstelle zu vergleichen. Dadurch können die Daten aus dem Fahrgastzählssystem und der Leitstelle validiert werden. Bei starken Abweichungen der Daten kann mit den Messungen vor Ort eine konzeptionelle Aussage gemacht werden.

### 5.5.1.2 *Ansatz aus der Literatur*

In Kapitel 3.1.1.3 wird der Vorteil des Ansatzes nach Weidmann zur Berechnung des Fahrgastwechsels erläutert. Deshalb werden die Busse mit dem Ansatz nach Weidmann miteinander verglichen. Es soll aufgezeigt werden, wie sich die zusätzliche Türe auf die Fahrgastwechselzeit auswirkt und wie die viertürigen Bustypen untereinander abschneiden. Es wird der Wirkungsgrad des Türsystems sowie die Fahrgastwechselzeit an einer Einzeltüre und an einer Haltestelle untersucht.

### 5.5.1.3 *Daten von Stadtbus Winterthur*

Stadtbus Winterthur hat einige Fahrzeuge mit automatischen Fahrgastzählssystemen ausgestattet und erhebt damit zahlreiche Daten. Für die Auswertung relevante Angaben sind in dieser Arbeit die Haltezeit an jeder Haltestelle, die Anzahl Ein- und Aussteiger und die Anzahl Fahrgäste im Fahrzeug. Zudem hat sich acht Wochen nach Ausgabe der Arbeit ergeben, dass die Fahrgastwechselzeit ebenfalls gemessen, von Stadtbus Winterthur aber nicht ausgegeben wird. Deswegen konnten diese Daten über den Ausrüster Dilax bezogen werden. Die Fahrgastwechselzeit wird jedoch nicht türscharf erhoben, da die Zählssysteme von Stadtbus Winterthur diese Option nicht freigeschaltet haben.

#### 5.5.1.3.1 *Automatisches Fahrgastzählsystem*

Zu Beginn der Arbeit konnte von Stadtbus Winterthur nur die Haltezeit zur Verfügung gestellt werden. Die Fahrgastwechselzeit war nicht im System implementiert. Stadtbus Winterthur nahm an, dass die Haltezeit über die Türknopfsteuerung gemessen wird. Die Messung beginne mit der Türfreigabe und ende, sobald der Fahrer die Türschliessung beantragt. Mit diesen Informationen wurden die erhaltenen Rohdaten auf Plausibilität geprüft und in vier Schritten aufbereitet (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Durchgeführte Schritte bei der Datenaufbereitung der Haltezeit

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Alle Messungen ohne Fahrgastwechsel werden eliminiert</li><li>2. Winterthur HB und Endhaltestellen werden nicht beachtet, da Busse oft Pufferzeit abwarten</li><li>3. Haltezeit &gt; 7 Sekunden</li><li>4. Haltezeit &lt; 60 Sekunden</li></ol> |
|--|

Die Schritte werden kurz erklärt:

1. In den erhaltenen Daten wurden Haltezeiten gemessen, wo kein Fahrgastwechsel stattgefunden hat. Diese Messungen werden eliminiert.



2. Die Haltezeit mit der Fahrgastwechselzeit gleichzusetzen enthält einige Risiken. Die Haltezeit kann nur mit der Fahrgastwechselzeit verglichen werden, wenn der Bus direkt nach dem Fahrgastwechsel abfährt. Ist der Busfahrer gegenüber dem Fahrplan voraus und wartet er diese Zeit an der Haltestelle ab, sperrt er die Türe im Normalfall erst bei der Abfahrt zu. Dadurch ist kein Zusammenhang zwischen Haltezeit und Fahrgastwechselzeit mehr vorhanden. Dies trifft hauptsächlich auf den Winterthur Hauptbahnhof und die Endhaltestellen zu.
3. Bei Beobachtungen vor Ort wurden bei einem Fahrgastwechsel minimale Haltezeiten von acht Sekunden gemessen. Sobald mehr als eine Person an einer Türe ausgestiegen ist, wuchs die Fahrgastwechselzeit auf über zehn Sekunden an. Gemäss der Doktorarbeit von Weidmann kann im Nahverkehr ein Wert von acht Sekunden für die Abfertigung durch den Fahrer und die automatischen Türen angenommen werden. Zwei Sekunden sind auf den Anhalteruck und den Beginn des Fahrgastwechsels und sechs Sekunden auf die Zeitdauer zwischen Abschluss des Fahrgastwechsels und dem Anfahruck zurückzuführen (U. Weidmann, Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr 1994). In den aufbereiteten Daten sind viele Messungen vorhanden, bei welchen die Haltezeit weniger als acht Sekunden beträgt. Dies sind zum Teil Leerfahrten oder fehlerhafte Messungen, welche aufgezeichnet wurden. Aus diesem Grund werden alle Messungen mit Haltezeiten kürzer als acht Sekunden nicht berücksichtigt.
4. Bei Beobachtungen vor Ort konnte festgestellt werden, dass selbst bei grossen Fahrgastwechseln die Haltezeit nie über 60 Sekunden ansteigt. In den Daten von Stadtbus Winterthur sind viele Haltezeiten grösser. Diese Haltezeiten weisen keinen Zusammenhang mit dem Fahrgastwechsel auf. Deswegen werden Haltezeiten von grösser als 60 Sekunden ebenfalls nicht betrachtet werden.

Die Haltezeiten werden in einer multiplen Regression mit den weiteren Einflussfaktoren verglichen. Die berücksichtigten Einflussfaktoren sind die Anzahl Ein- und Aussteiger, die Anzahl Fahrgäste im Fahrzeug, die Haltestelle und die unterschiedlichen Bustypen. Die Auswertung der Daten erfolgt für die HVZ und den ganzen Tag getrennt. Um die Anzahl Einflussfaktoren bei der Auswertung möglichst klein zu halten, werden die Bustypen an denselben Haltestellen miteinander verglichen. Dadurch wird das unterschiedliche Fahrgastverhalten an unterschiedlichen Haltestellen eliminiert.

In den Bussen sind drei verschiedene Ausführungen des Messsystems installiert. Aufgrund der erhaltenen Resultate konnten Unstimmigkeiten betreffend der Ausführung des Messsystems festgestellt werden (ausführliche Erklärung vgl. Kapitel 6.1.2.2). Aus diesem Grund wurde mit Dilax, dem Hersteller der Messsysteme, Kontakt aufgenommen. Daraus ergaben sich neue Informationen. Die Haltezeit wird gemäss Dilax nicht wie angenommen über die Türknopfsteuerung, sondern über ein Haltestellenfenster gemessen. Das Haltestellenfenster

weist eine Länge von 100 m auf. Die Haltezeit beginnt zu laufen, sobald der Bus in dieses Fenster einfährt. Innerhalb dieses Fensters kann der Bus beliebig stoppen und anfahren (z.B. bei Fliesskante oder wenn Ampel vorhanden ist). Sobald der Bus das Haltestellenfenster verlässt, stoppt die Haltezeit (Hüssner 2017). Mögliche Ampeln direkt nach der Haltestelle führen zu Verfälschungen der Haltezeit. Die ausgewählten Haltestellen (vgl. Kapitel 4.3) sind in Anhang 4 beschrieben.

Mit diesen neuen Erkenntnissen zeigt sich die Annahme (vgl. Tabelle 15), dass die Haltezeit mindestens acht Sekunden beträgt, unrealistisch ist. Allein um das Haltestellenfenster mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h zu durchqueren, werden etwa sieben Sekunden benötigt. Durch das Anfahren und Abbremsen sowie den Fahrgastwechsel sind Haltezeiten von unter 15 Sekunden unwahrscheinlich. Weshalb das Zählsystem Haltezeiten inklusive Fahrgastwechsel unter 15 Sekunden aufgezeichnet hat, wird laut Dilax untersucht. Bis zum Abschluss der Arbeit konnten jedoch keine Ursachen gefunden werden.

Bei der Abklärung mit Dilax hat sich herausgestellt, dass die nicht turscharfe Fahrgastwechselzeit ebenfalls gemessen wird und die Daten von Dilax zur Verfügung gestellt werden können. Dadurch können die Fahrgastwechselzeiten der unterschiedlichen Bustypen doch untersucht werden. Die Fahrgastwechselzeit misst die Zeitspanne, ab welcher der erste Fahrgast das Fahrzeug verlässt bis der letzte Fahrgast eingestiegen ist. Die Fahrgastwechselzeit wird in ganzen Sekunden gemessen. Die Türöffnungs- und Türschliesszeit werden in dieser Messung nicht berücksichtigt, weswegen die Fahrgastwechselzeiten direkt miteinander verglichen werden können. Die gemessene Zeitspanne ist in Abbildung 15 dargestellt. Aus diesem Grund werden die zur Verfügung gestellten Haltezeiten nicht weiter untersucht.

In den erhaltenen Daten zur Fahrgastwechselzeit sind alle Messungen der Gelenkbusse aus dem Jahr 2017 aufgezeichnet. Es sind die Haltezeit, die Fahrgastwechselzeit, die Anzahl Ein- und Aussteiger (getrennt) und die Anzahl Fahrgäste im Fahrzeug enthalten. Für die Aufbereitung der Daten werden die Schritte in Tabelle 9 durchgeführt:

Tabelle 9: Durchgeführte Schritte bei der Datenaufbereitung der Fahrgastwechselzeit

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Messungen ohne Fahrgastwechsel werden eliminiert (vgl. Tabelle 8)</li><li>2. Endhaltestellen werden nicht berücksichtigt (vgl. Tabelle 8)</li><li>3. Messungen für HVZ werden nur von Mo-Fr berücksichtigt (Pendlerspitzen)</li><li>4. Unverhältnismässige Messungen mit Fahrgastwechselzeiten von über 100 Sekunden werden nicht berücksichtigt (getroffene Annahme: Fahrgastwechsel von über 100 Sekunden unrealistisch)</li></ol> |
|---|

Bei den Messungen werden sogenannte „Unsichere“ (Begriff gemäss Dilax) ebenfalls gemessen. „Unsichere“ sind Fahrgäste im Türraum, welche vom Messsystem erfasst werden, jedoch am Schluss nicht aussteigen. Die Messung stoppt erst, wenn die Fahrgäste den Tür-

raum verlassen oder die Türen geschlossen werden. Deswegen sind zum Teil Fahrgastwechselzeiten von mehr als einer Sekunde vorhanden, obwohl nur ein Fahrgast ausgestiegen ist. Allerdings sind dies nur wenige Messungen. Diese Werte werden berücksichtigt, da auch bei grossen Fahrgastwechseln „Unsichere“ gemessen werden können und die Fahrgastwechselzeit deshalb beeinflusst wird.

Mit den Fahrgastwechselzeiten können die einzelnen Bustypen direkt miteinander verglichen werden. Dabei werden die Daten busspezifisch und haltestellenspezifisch (richtungsgetreunt) untersucht. Die Daten aus dem Fahrgastzählsystem müssen vor der Verwendung jedoch plausibilisiert werden. Die Anzahl Ein- und Aussteiger werden über Sensoren gemessen. Bei grossen Fahrgastwechseln können einzelne Fahrgäste nicht oder doppelt gezählt werden und auch Fahrgäste im Türraum werden zum Teil vom Fahrgastzählsystem mitgezählt. Dies führt dazu, dass in den Messdaten Ungenauigkeiten betreffend der Grösse des Fahrgastwechsels und der Fahrgastwechselzeit auftreten. Zudem werden die Fahrgastwechselzeiten in ganzen Sekunden gemessen, was bei kleinen Fahrgastwechseln einen grossen Einfluss auf die durchschnittliche Fahrgastwechselzeit pro Person haben kann.

#### **5.5.1.3.2 Aufgezeichnete Haltezeiten der Leitstelle**

Stadtbus Winterthur kann zusätzlich zu den Haltezeiten aus dem automatischen Fahrgastzählsystem auch die Haltezeiten der Leitstelle zur Verfügung stellen. Diese dienen zum direkten Vergleich mit den Haltezeiten aus dem Fahrgastzählsystem und den Handmessungen vor Ort. Die Aufarbeitung der Haltezeiten muss von Stadtbus Winterthur für jede Fahrt und Haltestelle einzeln durchgeführt werden, was einen hohen Aufwand mit sich bringt. Deshalb müssen der Zeitraum und die Bustypen, welche verglichen werden, sorgfältig ausgewählt werden. Welche Bustypen untersucht werden, wird zu Beginn von Kapitel 6.1.3 festgelegt.

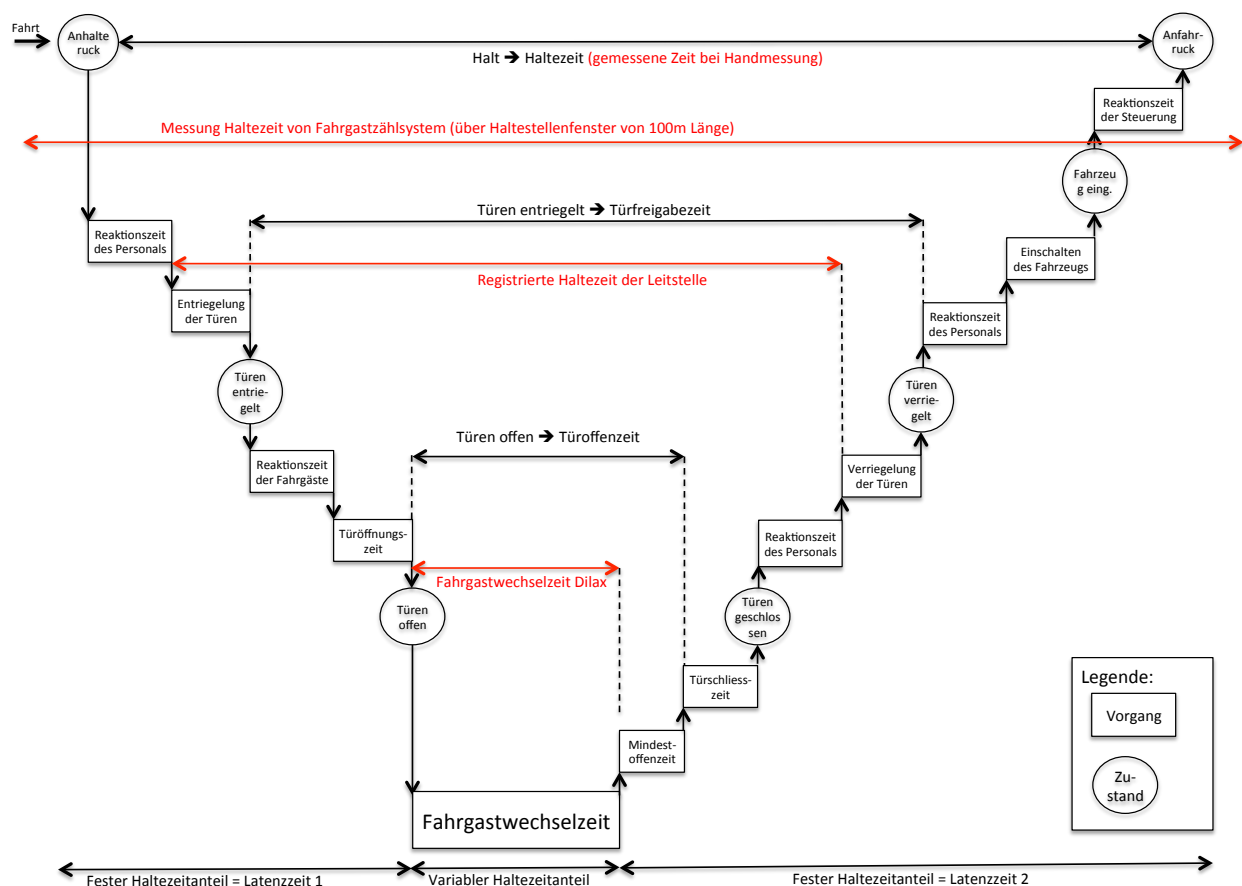
Die Haltezeit von der Leitstelle definiert sich wie folgt: Die Messung startet, wenn der Fahrer die Türfreigabe erteilt und stoppt, sobald er den Knopf für die Türschliessung tätigt. Drückt der Fahrer den Knopf noch während dem Fahrgastwechsel, stoppt die Haltezeit, obwohl noch immer Fahrgäste ein- und aussteigen. Dadurch sind die gemessenen Haltezeiten fahrrerspezifisch und die Haltezeit ist grundsätzlich zu tief. Diese Zeitspanne ist in Abbildung 15 dargestellt.

#### **5.5.1.4 Beobachtungen**

Aus den oben aufgeführten Erkenntnissen aus den Kapiteln 5.5.1.3.1 und 5.5.1.3.2 werden vor Ort Beobachtungen durchgeführt, welche die getroffenen Aussagen überprüfen sollen. Bei den Beobachtungen wird der Fahrgastwechsel bei zwei unterschiedlichen Bustypen untersucht, um den Zusammenhang zwischen Fahrgastwechsel und Haltezeit aufzuzeigen und die erhaltenen Daten zu verifizieren. Die Datenerhebung erfolgt im Bus, wobei an jeder Haltestelle die Fahrgastwechselzeit und die Anzahl Ein- und Aussteiger gemessen werden. Da

mehrere Türen gleichzeitig beobachtet werden, kann die Anzahl Ein- und Aussteiger nur grob ermittelt werden. Die gemessene Haltezeit beginnt nach dem Stillstand des Fahrzeuges, direkt vor Öffnung der ersten Türe und endet mit Schliessung der letzten Türe. Die Zeitspanne sollte ungefähr der Haltezeit der Leitstelle entsprechen und ist in Abbildung 15 graphisch dargestellt. Die Messungen werden anschliessend mit den Daten aus dem Fahrgastzählsystem und den Haltezeiten von der Leitstelle verglichen. Dadurch können die Differenzen aufgezeigt und allfällige Fehler evaluiert werden.

Abbildung 15: Komponenten der Haltezeit ohne Fahrausweisverkauf und die unterschiedlichen vorhandenen Messungen (in Rot)



Quelle: (U. Weidmann, Systemdimensionierung und Kapazität, Band 2.1 2011a) Eigene Darstellung von Abbildung 26 (Kap. 2.3)

## 5.5.2 Vertiefung Fahrzeuglayout und -auslastung

In dieser Untersuchung werden die Innenraumgestaltung und insbesondere der Gelenkbereich unter Betrachtung der Ganglänge und Sitzplatzanordnung genauer untersucht. Diese haben einen grossen Einfluss auf die Fahrgastverteilung. Die Innenraumgestaltung unterscheidet sich von Bus zu Bus. Dabei spielt der Zugang zum Gelenk eine wichtige Rolle, da

dieses die Verbindung zwischen dem vorderen und hinteren Bereich darstellt. Das Gelenk ist von vorne und von hinten zugänglich. Der Zugang von vorne erfolgt bei allen Bussen über einen Gang, wobei die Ganglänge und –breite die Zugänglichkeit beeinflusst. Der Zugang von der hinteren Türe unterscheidet sich ebenfalls bei den unterschiedlichen Modellen. Einige Busse haben in diesem Bereich eine offene Innenraumgestaltung mit wenigen (Trollino) bis gar keinen Sitzplätzen (Hess), andere Busse haben aufgrund der vorhandenen Sitzplätze einen eher schmalen Zugang (MAN, Urbino).

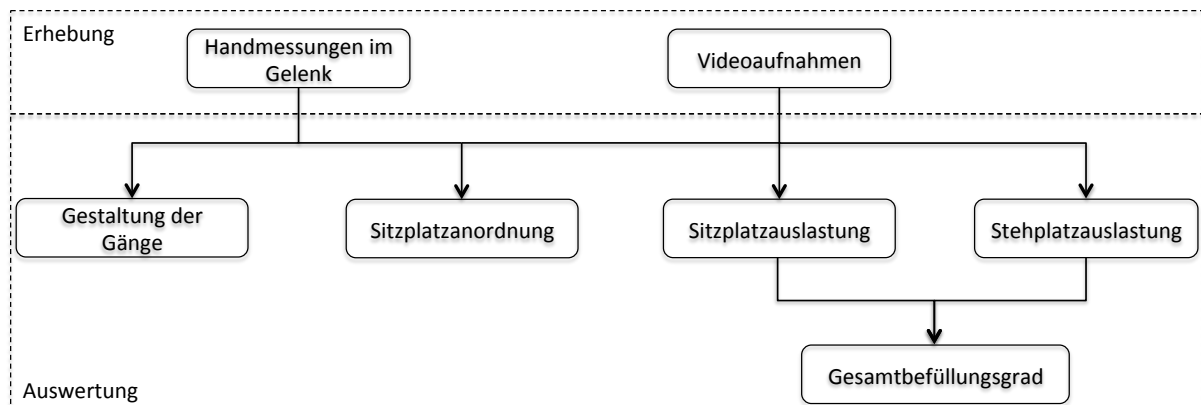
Aufgrund der unterschiedlichen Gelenkgestaltung werden die beiden Busse MAN und Hess für die Untersuchung ausgewählt. Diese beiden Bustypen werden aus folgenden Gründen ausgewählt:

- Unterschiedliche Gestaltung des Gelenkzuges von der hinteren Türe (offen bei Hess, Sitzplätze bei MAN).
- Gang von vorderer Türe zum Gelenk ist beim Hess deutlich länger (3.4 m vs. 1.8 m).
- Vergleichbare Gelenkfläche (2.6 m<sup>2</sup> bei Hess, 2.7 m<sup>2</sup> bei MAN).
- Stehplatzfläche der beiden Busse ist vergleichbar (21 m<sup>2</sup> bei Hess, 21.5 m<sup>2</sup> bei MAN).

Durch diese Eigenschaften können die beiden Busse einander gegenübergestellt und direkt miteinander verglichen werden.

Die Untersuchung der Innenraumgestaltung und des Gelenks hat zum Ziel, Empfehlungen in Bezug auf die Optimierung der Fahrgastwechselzeit abgeben zu können. Die Beobachtung wird in zwei Schritte unterteilt. Im ersten Schritt wird die Hypothese beantwortet, indem das Fahrgastaufkommen im Gelenk der beiden gewählten Bustypen untersucht wird. Im zweiten Schritt werden Videoaufnahmen vom gesamten Bus ausgewertet (vgl. Abbildung 16) und Aussagen zum Sitzplatzbelegungs- und Gesamtbefüllungsgrad gemacht. Die Erhebung wird für beide Bustypen während zwei Wochen von Montag bis Freitag in der HVZ am Morgen auf derselben Linie und demselben Kurs durchgeführt. Dadurch sollen die Einflussfaktoren wie Anzahl Fahrgäste, Personentyp (Pendler, Schüler etc.) und Haltestelle für beide Bustypen möglichst ähnlich sein. Für die Untersuchung wird die Linie 2 ausgewählt. Die Messung beginnt um 6:53 Uhr ab Winterthur HB in Richtung Wülflingen. Gemessen wird während eines Umlaufes (Winterthur HB - Wülflingen – Winterthur HB – Bahnhof Seen – Winterthur HB). Dieser Kurs wird ausgewählt, da während dieser Fahrt der Bus unterschiedlich ausgelastet ist. In einigen Abschnitten ist er praktisch leer, auf anderen ist er komplett ausgelastet. Dadurch können verschiedene Zustände untersucht werden.

Abbildung 16: Untersuchung der Auslastung der Bustypen



Quelle: Eigene Darstellung

### 5.5.2.1 Untersuchungen im Gelenk

Bei der Erhebung wird von Haltestelle zu Haltestelle die Personendichte im Gelenk gemessen. Dabei wird unterschieden, ob die Fahrgäste im vorderen oder hinteren Bereich einsteigen und aussteigen. Allfällige Konflikte, wie z.B. Fahrgäste, welche den Weg zum Gelenk versperren, werden vermerkt. Um eine Aussage zur Auslastung im vorderen und hinteren Bereich machen zu können, wird die Anzahl an Personen im Türraum gezählt. Diese Werte können mit der Personendichte im Gelenk verglichen werden.

### 5.5.2.2 Videoaufnahmen

Um die Sitzplatzbelegung und den Gesamtbefüllungsgrad zu untersuchen, werden Videoaufnahmen aus den Fahrzeugen der zwei gewählten Bustypen ausgewertet. Pro Fahrzeug sind fünf bis sechs Kameras installiert. Es stehen die Aufnahmen von denselben zwei Wochen, in welchen die Messungen im Gelenk durchgeführt werden, zur Verfügung. Bei der Auswertung wird der Schwerpunkt auf die Sitzplatzbelegung gelegt. Das heisst, es wird untersucht, ob bestimmte Sitzplätze attraktiver als andere sind. Bevor mit der Auswertung begonnen wird, müssen die Kameraaufnahmen der Bustypen analysiert werden. Bei Sitzplätzen, welche auf den Aufnahmen nicht zu sehen sind, muss klar definiert werden, dass bei der Auswertung eine Unsicherheit besteht (vgl. Kapitel 6.2.1.2).

### 5.5.3 Vertiefung Haltestellendesign

Für die Vertiefung des Haltestellendesigns werden die haltestellenspezifischen Auswertungen der Fahrgastwechselzeiten aus Kapitel 6.1.4.2.2 verwendet. Mit diesen Auswertungen können die einzelnen Haltestellen getrennt untersucht werden. Es wird versucht, Gemeinsamkeiten und Unterschiede der einzelnen Haltestellen zu erarbeiten, welche die Fahrgast-

wechselzeit beeinflussen. Für Beobachtungen vor Ort fehlt die Zeit. Aufgrund der fehlenden Zeit wird das Haltestellendesign nach Absprache mit den Betreuern in dieser Arbeit nicht vertieft untersucht.

## 5.6 Auswertungskonzept

Mit den Daten von Stadtbus Winterthur und den eigenständig erhobenen Daten erfolgt die Auswertung. In diesem Kapitel wird das Vorgehen für die Auswertung beschrieben.

### 5.6.1 Fahrgastwechselzeit

Bei der Untersuchung der Fahrgastwechselzeit wird zuerst ein Literaturansatz gerechnet, bevor die Daten aus dem Fahrgastzählsystem und aus der Leitstelle herangezogen werden. Die Daten aus den verschiedenen Systemen werden mit Handmessungen verglichen und plausibilisiert. Die Erkenntnisse aus der Literatur werden den Erkenntnissen aus der Datenauswertung gegenübergestellt. Falls die Ergebnisse nicht übereinstimmen, müssen die einzelnen Daten auf allfällige Fehler und Ungenauigkeiten geprüft werden. Beobachtungen vor Ort helfen, die Ergebnisse zu verifizieren. Eine Übersicht zu den unterschiedlichen Ansätzen ist in Abbildung 17 zu sehen.

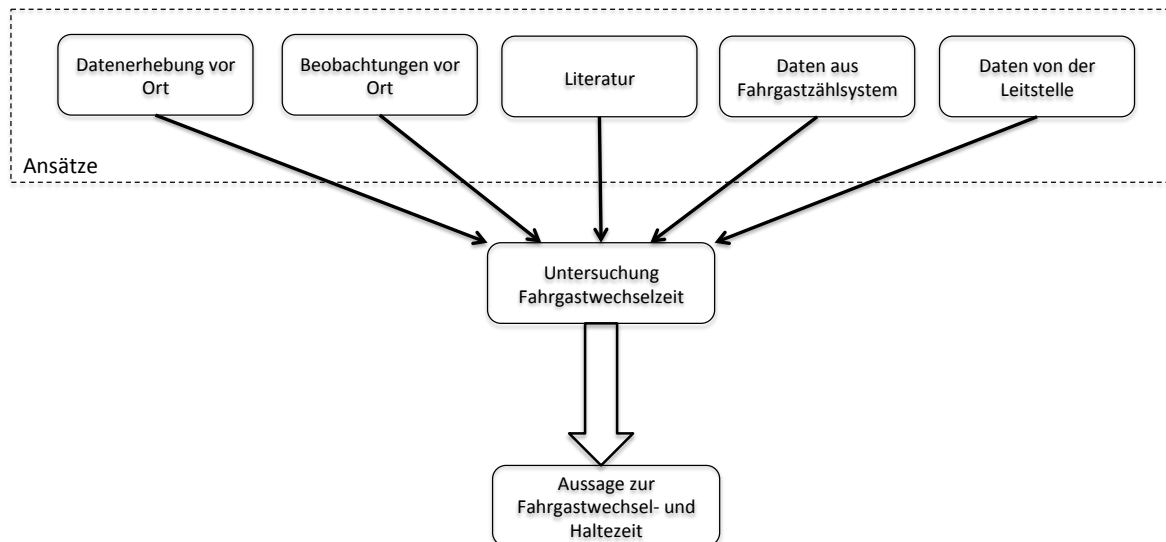
Die von Stadtbus Winterthur aufbereiteten Daten werden in Excel-Dateien zur Verfügung gestellt. Für die Auswertung der Daten aus dem Fahrgastzählsystem wird das Statistikprogramm R und Excel verwendet. Die erhaltenen Daten sind Rohdaten und müssen deswegen aufbereitet werden (vgl. Tabelle 8 und Tabelle 9). Die Aufbereitung der Haltezeiten der Leitstelle ist für Stadtbus Winterthur aufwändig. Jede Fahrt muss einzeln bearbeitet werden und es stehen nur Mittelwerte über einen gewissen Zeitraum zur Verfügung. Deshalb werden diese Daten nicht in R ausgewertet. Die Daten aus den Beobachtungen vor Ort werden in Excel ausgewertet.

Um Unterschiede zwischen den Fahrzeugen feststellen zu können, werden die einzelnen Fahrzeuge mit statistischen Ansätzen miteinander verglichen (Mittelwert, Standardabweichung, t-Test). Es ist insbesondere relevant, ob die Fahrzeuge desselben Bustypes ähnliche Werte aufweisen, damit mit Aussagen zu einzelnen Fahrzeugen auf alle Fahrzeuge desselben Typs geschlossen werden kann.

Bei der Auswertung der Daten aus dem Fahrgastzählsystem wird untersucht, ob je nach Tageszeit ein unterschiedliches Fahrgastverhalten beobachtet werden kann. Hierfür werden die Daten einerseits für die HVZ, andererseits über den ganzen Tag ausgewertet. Die ganztägige Untersuchung berücksichtigt den gesamten Zeitraum aller Wochentage. Für die HVZ werden nur die Messungen von Montag bis Freitag berücksichtigt und die Untersuchung wird für den Morgen und Abend getrennt durchgeführt.

Die Ergebnisse aus den einzelnen Schritten werden miteinander verglichen, um Abweichungen und Unstimmigkeiten festzustellen. Am Schluss soll eine möglichst allgemein gültige Aussage zur Fahrgastwechselzeit gemacht werden.

Abbildung 17: Berücksichtigte Ansätze bei der Auswertung der Fahrgastwechselzeit



Quelle: Eigene Darstellung

### 5.6.2 Vertiefung Fahrzeuglayout und -auslastung

Der Einfluss des Gelenkbereichs auf die gesamte Innenraumgestaltung wird in Kapitel 6.2.1 aufgezeigt. Bei der Untersuchung des Gelenkbereichs wird primär die Personendichte im Gelenk gemessen und zwischen den Fahrzeugen verglichen. Durch die Unterteilung der Zuströme können die Einflussfaktoren auf die Personendichte im Gelenk evaluiert werden.

Bei der Auswertung der Videoaufnahmen wird von Haltestelle zu Haltestelle die Sitzplatzbelegung untersucht. Zwischen den Bustypen ist insbesondere interessant, wie sich die zusätzliche fünfte Türe auf die Sitzplatzbelegung im vorderen und hinteren Bereich auswirkt. Zudem wird bei den beiden gewählten Bustypen die Belegung der Klappsitze aufgezeichnet. Gleichzeitig wird bei der Videoauswertung die Stehplatzbelegung untersucht. Hierfür wird die Belegung im vorderen und hinteren Bereich getrennt analysiert, um Aussagen zur Gleichmässigkeit der Fahrzeugauslastung machen zu können. Aus der Untersuchung der Sitz- und Stehplatzbelegung können Schlüsse zum Gesamtbefüllungsgrad gezogen werden, wobei der Einfluss der fünften Türe evaluiert werden soll.



### **5.6.3 Vertiefung Haltestellendesign**

Die betrachteten Haltestellen weisen unterschiedliche Haltestellendesigns auf. Diese können einander gegenübergestellt werden. Die haltestellenspezifischen Fahrgastwechselzeiten werden im R und Excel überprüft. Hierbei werden die Fahrgastwechselzeiten pro Person miteinander verglichen. Für die Auswertung werden insbesondere die Länge der Haltekante, die Anordnung von einer eventuell vorhandenen Wartehalle und die Wartebereiche berücksichtigt.

## 6 Auswertung

### 6.1 Fahrgastwechselzeit

*„Aufgrund der zusätzlichen fünften Türe des MAN Lion's City Gelenkbusses kann der Fahrgastwechsel gegenüber den viertürigen Gelenkbussen beschleunigt und dadurch die Haltezeit reduziert werden.“*

Wie bereits in Kapitel 5.5 erklärt, erfolgt die Auswertung nach folgendem Schema:

1. Abschätzung der Fahrgastwechselzeit mit Literaturansätzen (vgl. Kapitel 6.1.1)
2. Automatisches Fahrgastzählsystem: Haltezeit (vgl. Kapitel 6.1.2)
3. Aufgezeichnete Haltezeiten der Leitstelle (vgl. Kapitel 6.1.3)
4. Automatisches Fahrgastzählsystem: Fahrgastwechselzeit (vgl. Kapitel 6.1.4)
5. Beobachtungen vor Ort (vgl. Kapitel 6.1.5)

#### 6.1.1 Abschätzung der Fahrgastwechselzeit mit Literaturansätzen

Mit Hilfe des Ansatzes von Weidmann wird die Fahrgastwechselzeit des fünftürigen mit derjenigen von drei viertürigen Gelenkbussen verglichen. Die Türbreiten beim Solaris Urbino und Solaris Trollino sind identisch, weswegen diese beiden Bustypen für die Auswertung des Wirkungsgrades des Türsystems und der Einzeltüre zusammengefasst werden. Für die Berechnung der Fahrgastwechselzeit eines Kurses werden die beiden Bustypen wegen unterschiedlicher Innenraumgestaltung jedoch einzeln betrachtet. Um die Berechnung durchzuführen, werden Annahmen getroffen. Diese finden sich in Tabelle 10.

Tabelle 10: Annahmen für die Abschätzung der Fahrgastwechselzeit

- Im Bus sind 75% der Sitzplätze belegt, während 30 Fahrgäste im Fahrzeug stehen.
- Bei allen Bustypen steigen gleichviele Personen ein und aus (total 28 Personen).
- Die Anzahl Einsteiger entspricht der Anzahl Aussteiger (je 14 Personen).
- Die Fahrgäste verteilen sich proportional zur Türbreite (Berechnung für Einzeltür).
- Die Personendichte im Türraum wird mit der verfügbaren Stehplatzfläche und der Stehplatzbelegung bestimmt.
- Die Urbino Modelle werden trotz unterschiedlicher Innenraumgestaltung nicht getrennt betrachtet, da sich einzig die Stehplatzfläche leicht unterscheidet.

Die wichtigsten Parameter für die in den folgenden Unterkapiteln durchgeführten Rechnungen sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Wichtigste Parameter für die Berechnungen

	<b>MAN</b>	<b>Solaris (Urbino / Trollino)</b>	<b>Hess</b>
Anzahl Türen	5	4	4
Türbreiten [m]	1.35 (4x) 0.9 (1x)	1.35 (4x)	1.2 (3x) 0.82 (1x)
Höhendifferenz Haltekante – Bus [m]	0.15	0.15	0.15
Fahrgastwechsel pro Tür	6 (breit) 4 (schmal)	7	8 (breit) 4 (schmal)

Die Anzahl Ein- und Aussteiger werden bei den Bussen von MAN und Solaris entsprechend der Türbreite auf die Anzahl Türen aufgeteilt. Da dies beim Hess nicht aufgeht, wird angenommen, dass bei der schmalen Türe weniger Fahrgäste aussteigen. Deshalb verlassen beim Hess bei den breiten Türen acht und bei der schmalen Türe vier Fahrgäste das Fahrzeug.

Durch die oben getroffene Annahme, dass an jeder Türe des jeweiligen Bustyps gleichviele Fahrgäste ein- und aussteigen, befinden sich im fünftürigen Bus mehr Fahrgäste im vorderen Bereich, da drei der fünf Türen im vorderen Bereich liegen. Dies stimmt mit der Überprüfung der Fahrzeugkapazität in Kapitel 4.2.1 überein. Der fünftürige Bus weist vorne deutlich mehr Stehfläche auf als die anderen Bustypen, weshalb die Stehplatzdichte im vorderen Bereich dennoch nicht höher ist. Der Hess Swisstrolley hingegen weist hinten eine höhere Kapazität auf (vgl. Kapitel 4.2.3), für die Fahrgäste im hinteren Bereich steht jedoch auch eine grössere Türbreite zur Verfügung (2.4 m hinten vs. 2.02 m vorne).

Da beim Solaris vier gleich breite Türen bestehen, ist die Anzahl Fahrgäste pro Türe ungerade. Deshalb folgt hier die Annahme, dass an zwei Türen vier Fahrgäste ein- und drei Fahrgäste aussteigen. An den anderen zwei Türen betreten drei Fahrgäste das Fahrzeug und vier Fahrgäste verlassen es. Durch diese Annahme steigen bei allen Bussen je 14 Fahrgäste ein und aus, was mit den anderen Bustypen übereinstimmt.

Die ausführlichen Berechnungen sind in Anhang 6 zu finden.

### 6.1.1.1 Wirkungsgrad des Türsystems

Laut Weidmann ist der Wirkungsgrad des Türsystems tiefer, je mehr Türen vorhanden sind und je breiter sie sind. Mit der Formel aus dem Kapitel 3.1.1.1 kann der Wirkungsgrad berechnet werden. Die Resultate sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Wirkungsgrad des Türsystems

	MAN	Solaris	Hess
Türbreite gemittelt [m]	1.26	1.35	1.105
Wirkungsgrad [%]	58.5	60.3	68.3

Quelle: Berechnung in Anhang 6

Die viertürigen Busse weisen einen besseren Wirkungsgrad als der fünftürige Bus auf. Zudem ist die 1.2 m breite Türe beim Hess effizienter als die 1.35 m breite Türe bei den anderen Modellen.

### 6.1.1.2 Fahrgastwechselzeit an Einzeltüre

In Kapitel 3.1.1.1 ist die Formel für die Fahrgastwechselzeit einer Einzeltüre beschrieben. Durch die zusätzliche Türe beim fünftürigen Bus steigen pro Türe weniger Fahrgäste aus, wodurch die Fahrgastwechselzeit abnehmen sollte. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Zulauf zu der Einzeltüre behinderungsfrei abläuft und der Fahrgastwechselvorgang sofort beginnen kann. Die Fahrgastwechselzeit hängt von der Türbelastung, der Türbreite, der Einstiegshöhe, des Richtungsanteils und des Türabstandes (< 10 m oder > 10 m) ab. Die Resultate sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Fahrgastwechsel an der Einzeltüre

	MAN	Solaris	Hess
Anzahl Ein- und Aussteiger an Tür (total)	4 (schmal) 6 (breit)	7	4 (schmal) 8 (breit)
Spezifische Leistungsfähigkeit der Türe [P/ms]	0.785 (schmal) 0.785 (breit)	0.798	0.788 (schmal) 0.799 (breit)
Fahrgastwechselzeit [s]	5.66 (schmal) 5.66 (breit)	7.42	6.19 (schmal) 8.34 (breit)
Differenz Fahrgastwechselzeit gegenüber MAN [%]	-	+ 23.7	+32.1

Quelle: Berechnung in Anhang 6

Aufgrund der fünften Türe steigen beim MAN pro Türe weniger Fahrgäste ein und aus, weswegen dieser die kürzeste Fahrgastwechselzeit aufweist. Bei gleicher Anzahl an Ein- und Aussteiger pro Tür würden die beiden Busse MAN und Solaris identische Fahrgastwechselzeiten aufweisen. Der Hess hat zwar eine hohe spezifische Leistungsfähigkeit an der breiten Tür, weist jedoch aufgrund der schmalen Türbreite von 1.2 m eine tiefere Türleistungsfähigkeit auf, was zu einer höheren Fahrgastwechselzeit führt.

### 6.1.1.3 Fahrgastwechselzeit eines Kurses

Die Fahrgastwechselzeit des Kurses ist ein wichtiger Parameter, da sich die Fahrgäste in der Regel nicht proportional zur Türleistungsfähigkeit auf die Türen verteilen. Deshalb gibt es Streuungen von Türe zu Türe. Die Formel zur Berechnung der Fahrgastwechselzeit eines Kurses ist in Kapitel 3.1.1.1 zu finden. Bei der Berechnung werden die ungleichmässige Belastung des Türsystems, die Stehplatzdichte im Türraum, der Ausschöpfungsgrad des Türsystems und der Wirkungsgrad des Türsystems berücksichtigt. Zusätzliche Einflussfaktoren wie z.B. die Grösse des Podestbereichs und die Gestaltung der Gänge werden nicht berücksichtigt. Dadurch wird die Innenraumgestaltung nur indirekt und teilweise berücksichtigt.

Der Solaris Urbino und der Solaris Trollino sind die gleichen Bustypen, haben jedoch eine unterschiedliche Innenraumgestaltung. Der Trollino hat eine geringere Kapazität und weniger Stehplatzflächen, weswegen angenommen wird, dass mehr Fahrgäste im Türraum stehen. Dadurch ergibt sich die Differenz der Fahrgastwechselzeit des Trollino gegenüber dem Urbino.

Die getroffenen Annahmen und die Berechnung der unterschiedlichen Parameter sind in Anhang 6 zu finden. Diese Berechnungen ergeben, dass bei den Solaris Bussen die beiden Türen, wo drei Fahrgäste aus- und vier Fahrgäste einsteigen, massgebend sind. Deswegen werden die Wechselzeiten von diesen Türen mit den anderen Bussen verglichen.

Tabelle 14: Fahrgastwechselzeit eines Kurses

	<b>MAN</b>	<b>Urbino</b>	<b>Trollino</b>	<b>Hess</b>
Fahrgastwechselzahl pro Bus [P]	28	28	28	28
Fahrgastwechselzeit des Kurses [s]	11.28	12.23	12.38	13.69
Differenz Fahrgastwechselzeit gegenüber MAN [%]	-	+ 7.75	+ 8.9	+ 17.6

Quelle: Berechnung und Erklärung in Anhang 6

Der MAN schneidet aufgrund der zusätzlichen Türe und der tiefsten Türraumdichte der untersuchten Fahrzeuge am besten ab. Beim Hess wirkt sich vor allem die fehlende Türbreite

über das gesamte Fahrzeug gesehen (total ein Meter weniger im Vergleich zu den Solaris Bussen) negativ auf die Fahrgastwechselzeit aus.

#### **6.1.1.4 Erkenntnisse**

Den Berechnungen mit Hilfe der Literaturansätze liegen bestimmte Annahmen zu Grunde. Es wurde angenommen, dass die Fahrgäste entsprechend der Türbreite ein- und aussteigen. Diese Annahme ist jedoch aufgrund der Innenraumgestaltung nicht bei allen Bustypen gleich wahrscheinlich (siehe Kapitel 4.2.5). Deswegen wird die ungleichmässige Verteilung im Fahrzeug bei der Berechnung der Fahrgastwechselzeit eines Kurses mit dem Faktor für ungleichmässige Türbelastung berücksichtigt.

Die Anzahl Türen werden im Ansatz nach Weidmann indirekt durch den Wirkungsgrad der Türsysteme berücksichtigt. Trotzdem schneidet der fünftürige Bus von MAN nach dem Ansatz von Weidmann besser ab. Bei der Betrachtung der Einzeltüre ist der Zeitgewinn grösser als wenn die Fahrgastwechselzeit des ganzen Kurses betrachtet wird. Eine Erklärung hierfür liefert der Wirkungsgrad des Türsystems, welcher bei einem fünftürigen Bus um einige Prozent geringer als bei einem viertürigen ist. Dadurch wird die spezifische Leistungsfähigkeit der einzelnen Türen gesenkt.

Der Hess Swisstrolley weist die schlechtesten Fahrgastwechselzeiten auf. Die Hauptursache ist, dass dieser Bustyp über die ganze Fahrzeuglänge im Vergleich zum Solaris einen Meter und im Vergleich zum MAN beinahe zwei Meter weniger Türbreite aufweist. Die spezifische Leistungsfähigkeit [P/sm] ist beim Hess jedoch leicht höher als bei den anderen Bustypen. Aufgrund der schmalen Türbreiten ist die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Türe trotzdem tiefer. Dadurch wird die höhere Fahrgastwechselzeit erklärt, was auch die Berechnungen in Kapitel 4.2.5 bestätigen.

Die Untersuchung der unterschiedlichen Buslayouts in Kapitel 4.2.5 deutet darauf hin, dass der Solaris Trollino bei hohem Fahrgastaufkommen höhere Fahrgastwechselzeiten aufweist als der Solaris Urbino. Diese Aussage kann mit dem Literaturansatz bestätigt werden. Da die Annahme getroffen wird, dass in jedem Fahrzeug gleichviele Stehplätze besetzt sind, ist die Türraumdicke im Trollino aufgrund der tieferen Stehplatzfläche höher.

#### **6.1.2 Automatisches Fahrgastzählsystem: Haltezeit**

In diesem Kapitel werden die Daten der Haltezeit des automatischen Fahrgastzählsystems, welche Stadtbuss Winterthur zur Verfügung stellt, ausgewertet. Pro Bustyp werden verschiedene Fahrzeuge miteinander verglichen, um allfällige Abweichungen festzustellen. Aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren wird die Untersuchung auf einzelne Haltestellen beschränkt. Hierfür ist wichtig, dass diese Haltestellen von allen gewählten Gelenkbustypen bedient wer-

den. Die Auswahl der untersuchten Haltestellen ist in Kapitel 4.3 zu sehen. An diesen Haltestellen verkehren die Gelenktrolleybusse Hess und Solaris Trollino (auf der Linie 1) und die Gelenkautobusse MAN und Solaris Urbino (auf der Linie 5 und 7). Durch die haltestellenspezifische Auswertung können die Haltezeiten der einzelnen Busse besser miteinander verglichen werden, da das Haltestellendesign dadurch für alle Busse dasselbe ist. Zu Beginn der Auswertung war noch nicht klar, dass die Haltezeit über ein Haltestellenfenster von 100 m Länge gemessen wird (vgl. Kapitel 5.5.1.3.1). Dies hat sich erst nach den ersten Abklärungen mit Dilax ergeben.

### 6.1.2.1 Multiple Regression

Um aus den erhaltenen Daten zu evaluieren, welche Faktoren die Haltezeit massgebend beeinflussen, wird im Statistikprogramm R eine multiple Regression durchgeführt. In dieser wird getestet, ob zwischen mehreren unabhängigen Variablen und einer abhängigen Variable ein Zusammenhang besteht (Universität Zürich 2017). Die Formel lautet:

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_k * x_k + \varepsilon_1$$

wobei:  $y$  = Schätzer der abhängigen Variable

$x_k$  = unabhängige Variable  $k$

$\beta_k$  = Regressionskoeffizient der Variable  $x_k$

$\varepsilon_1$  = Fehlerterm des Probanden  $i$

In dieser Auswertung entspricht  $y$  der Haltezeit.  $x_k$  sind die unabhängigen Variablen, in diesem Fall die Einsteiger, die Aussteiger, die Anzahl Fahrgäste im Bus, die verschiedenen Bustypen und die einzelnen Haltestellen.

Bei der Auswertung in R (vgl. Code in Anhang 7) werden einerseits alle betrachteten Haltestellen gemeinsam, aber auch die einzelnen Haltestellen und Bustypen separat untersucht. Die Auswertung erfolgt dreimal, einmal über den ganzen Tag und je einmal für die HVZ Morgen (06:00 Uhr bis 09:00 Uhr) und Abend (16:00 Uhr bis 19:00 Uhr). Die wichtigsten Resultate sind kurz zusammengefasst:

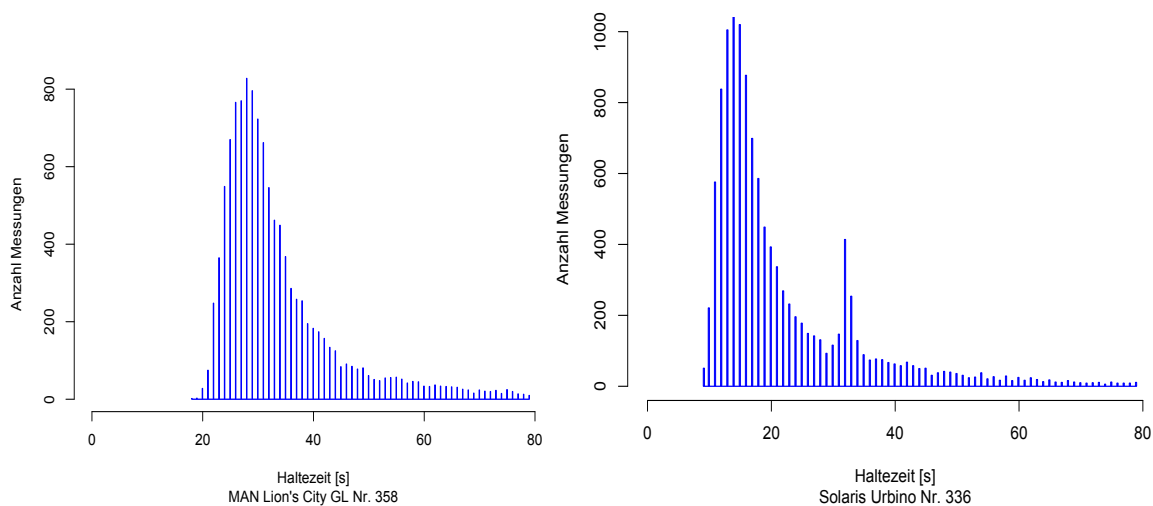
- Zwischen den Messungen über den ganzen Tag und der HVZ sind keine markanten Unterschiede zu erkennen.
- Die Wochentage haben einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Haltezeit.
- Über den ganzen Datensatz gesehen erhöht ein zusätzlicher Fahrgast die Haltezeit um etwa 0.5 Sekunden.
- Die Anzahl der Einsteiger hat, über den ganzen Datensatz gesehen, den grösseren Einfluss auf die Haltezeit als die Anzahl der Aussteiger (ca. +0.6 Sekunden vs. +0.4 Sekunden), wobei es an einzelnen Haltestellen auch umgekehrt ist.
- Am Hauptbahnhof und an den Endhaltestellen ist der Einfluss der Ein- und Aussteiger auf die Haltezeit deutlich geringer als an den anderen Haltestellen.

- Die Busse von MAN und der Solaris Urbino Nr. 347 weisen im Schnitt an jeder Haltestelle 12 Sekunden längere Haltezeiten auf.

### 6.1.2.2 Resultate

Um die Daten zu verifizieren, werden die Verteilungen der Haltezeiten der einzelnen Bustypen untersucht. Diese entsprechen für alle Bustypen ungefähr einer Normalverteilung. Im Histogramm ist ersichtlich, dass die Haltezeiten vom fünftürigen Bus höher sind als bei den anderen Bussen (vgl. Abbildung 18). Es ist zu sehen, dass bei den fünftürigen Bussen keine Haltezeiten von weniger als 20 Sekunden auftreten, während bei den anderen Bustypen die tiefsten Haltezeiten zwischen 7 und 15 Sekunden liegen.

Abbildung 18: Histogramm mit Haltezeit beim MAN (links) und Solaris Urbino (rechts)



Quelle: Daten vom Fahrgastzählsystem von Stadtbus Winterthur, ganztägig, 15.12.16-01.03.17, Linien 1, 5 und 7, Ausgabe in R

Die Histogramme zur Haltezeit der anderen Bustypen sind in Anhang 8 zu finden.

Die Daten zeigen einen Zusammenhang zwischen der Haltezeit und der Anzahl Fahrgastwechsel (vgl. Kapitel 6.1.2.1). Bei hohen Fahrgastwechselzahlen sind tiefe Haltezeiten praktisch ausgeschlossen. Hingegen treten immer wieder hohe Haltezeiten auf, obwohl kaum Fahrgäste ein- und aussteigen. Bei diesen Messungen handelt es sich entweder um Fahrgäste mit Behinderungen, Kinderwagen oder der Bus muss an der Haltestelle warten (Verfrühung oder rote Ampel), bevor er das Haltestellenfenster verlassen kann. Zudem ist der Zusammenhang zwischen Haltezeit und Fahrgastwechsel an Endhaltestellen weniger eindeutig, da die Busse dort den Fahrplan abwarten müssen. Die Korrelation zwischen Haltezeit und Fahrgastwechsel schwankt von Haltestelle zu Haltestelle und liegt zwischen 0.1 bis 0.5.



Stadtbus Winterthur dachte, dass die Haltezeit über die Türknopfsteuerung gemessen wird. Dadurch wäre die Haltezeit abhängig von der Türöffnungs- und Türschliesszeit. Diese ist je nach Bustyp und Türsystem unterschiedlich. Da keine Angaben zu der Türöffnungs- und Türschliesszeit bei den verschiedenen Bus- und Türtypen vorhanden sind, werden pro Bustyp zehn Handmessungen durchgeführt (vgl. Tabelle 15). Diese sind relativ grob, weswegen kleine Differenzen zwischen der Türöffnungs- und Türschliesszeit nicht erkannt werden. Die Zeiten werden an den Türen vor und nach dem Gelenk gemessen (2. und 3., respektive 3. und 4. Türe beim MAN).

Bei den Bussen wird zwischen Schwenkschiebetüre, Aussenschwingtüre und Innenschwenktüre unterschieden. Ein Bus weist selten ein einheitliches Türsystem auf, da die Innenraumgestaltung unterschiedliche Türsysteme erfordert. Die hinterste Türe ist aufgrund der Platzverhältnisse im Innenraum oft eine Aussenschwingtüre. Beim Hess Swisstrolley 3 unterscheidet sich die vorderste Türe (Einzeltüre) von den anderen Türen am Fahrzeug. Die Türöffnungs- und Türschliesszeit ist an dieser Türe etwa um eine halbe Sekunde kürzer. Bei den anderen Bussen konnten bei den verschiedenen Türtypen keine Unterschiede festgestellt werden.

Tabelle 15: Türöffnungs- und Türschliesszeiten der unterschiedlichen Bustypen (gemittelt)

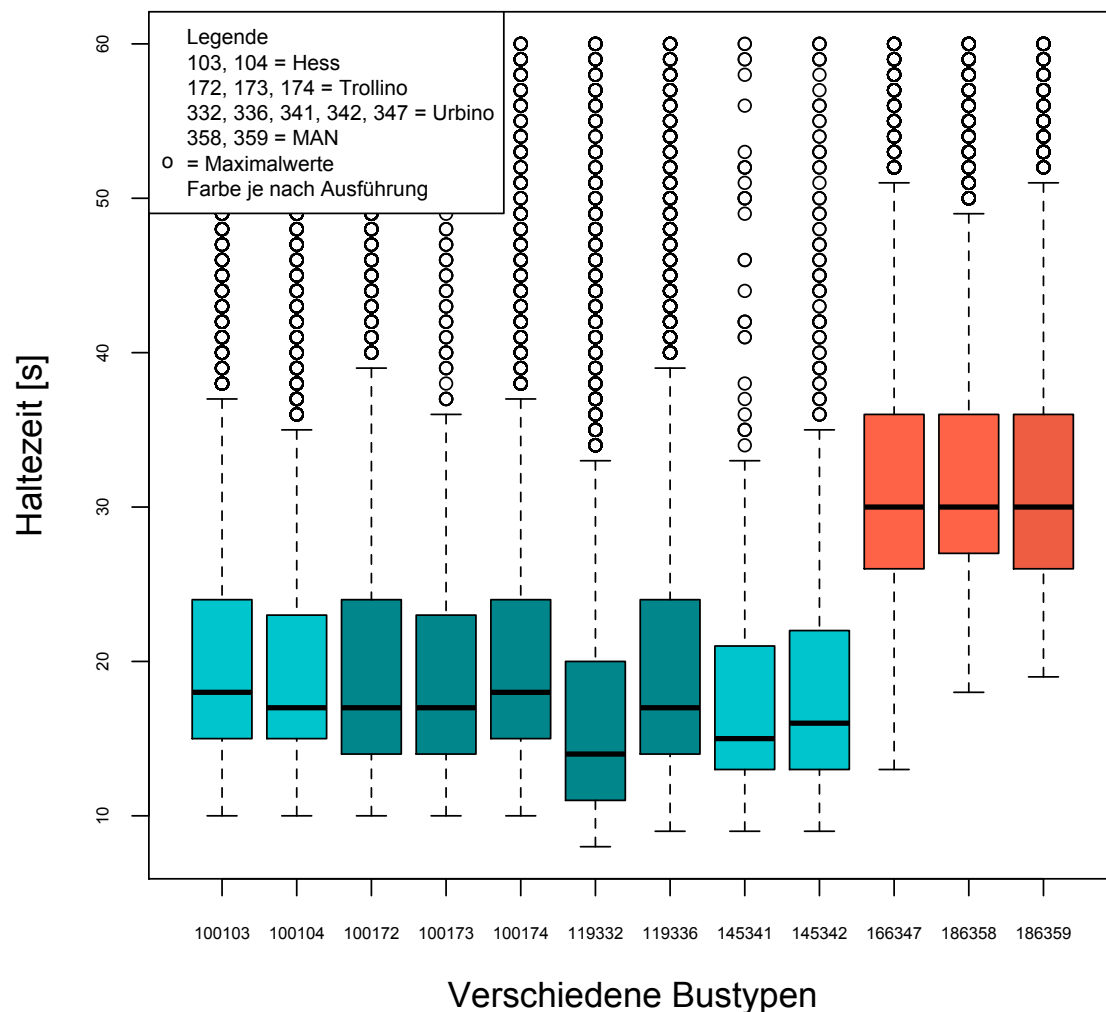
<b>Bustyp</b>	<b>Türöffnungs- und Türschliesszeit [s]</b>
MAN Lion's City	2.04
Hess Swisstrolley 3	2.73
Solaris Urbino	2.30
Solaris Trollino	2.23

Quelle: Handmessungen vor Ort, siehe Anhang 11

Die gemessenen Türöffnungs- und Türschliesszeiten könnten von der Haltezeit abgezogen werden, damit die Daten nicht abhängig von den Türeigenschaften sind. Es zeigte sich nachträglich, dass die Haltezeit über das Haltestellenfenster gemessen wird, weswegen noch andere Faktoren wie z.B. die Fahrgeschwindigkeit, der Bremsvorgang und der Beschleunigungsvorgang von Bedeutung sind. Diese Werte sind für die unterschiedlichen Busse nicht bekannt, weswegen auch die Türöffnungs- und Türschliesszeit nicht abgezogen wird.

In einem nächsten Schritt wird ein Boxplot mit dem gesamten Datensatz erstellt. Die Daten zeigen, dass die Haltezeiten des MAN Lion's City am höchsten sind. Einzig ein Bus vom Solaris Urbino Typ 3 weist ähnliche Werte auf (vgl. Abbildung 19).

Abbildung 19: Boxplot der Haltezeit der Gelenkbusse mit 25% und 75%-Quantil



Quelle: Eigene Darstellung, Daten AFAZ Stadtbus Winterthur, 11.12.16 – 01.03.17

Damit eine möglichst breit abgestützte Aussage gemacht werden kann, erfolgt die Auswertung für unterschiedliche Zeiten und verschiedene Haltestellen. Die Daten des MAN und eines Solaris Urbino Busses weisen auch in dieser Untersuchung an allen Haltestellen und zu allen Tageszeiten die höchsten Haltezeiten auf (vgl. Anhang 12). Die hohen Haltezeiten beim fünftürigen Bus wurden einer genaueren Analyse unterzogen. Dabei hat sich herausgestellt, dass bei den beiden fünftürigen Bussen (Nr. 358 und 359) sowie beim viertürigen Solaris Urbino (Nr. 347) eine andere Ausführung des Messsystems von Dilax als bei den anderen Bussen installiert ist (vgl. Tabelle 16). Laut Dilax sollten diese Ausführungen identisch messen, was jedoch nicht der Fall ist. Eine Abklärung von Dilax hat zu keinen Ergebnissen geführt. Aus diesem Grund werden die haltestellenspezifischen Auswertungen nicht vertieft untersucht. Die haltestellenspezifischen Resultate sind in Anhang 12 zu finden.

Tabelle 16: Ausführung der Messsysteme von Dilax bei den Gelenkbussen

PCU 250	WEB	WEB ETH
MAN Nr. 358	Trollino Nr. 172	Hess Nr. 103
MAN Nr. 359	Trollino Nr. 173	Hess Nr. 104
Urbino Nr. 347	Trollino Nr. 174	Urbino Nr. 341
	Urbino Nr. 332	Urbino Nr. 342
	Urbino Nr. 336	

Gemäss Stadtbus Winterthur gab es beim fünftürigen MAN Reklamationen von deren Fahrern und Fahrgästen. Es wurde kritisiert, dass die Türen nach dem Fahrgastwechsel lang offen sind und die automatische Haltestellenbremse die Abfahrt verzögert. Im März 2017 wurde deshalb die Software aktualisiert. Beim Vergleich der Daten vom 20. März bis 5. April 2017 mit den Daten vor der Softwareaktualisierung zeigt sich, dass die Haltezeiten im Schnitt um etwa 2 Sekunden reduziert werden konnten (vgl. Anhang 13). Diese Reduzierung führt zwar zu einer Verbesserung, erklärt die grosse Differenz zwischen den fünftürigen Bussen und den viertürigen Bussen jedoch nicht abschliessend.

Bei der Abklärung mit Dilax ergab sich, dass die nicht türscharfe Fahrgastwechselzeit ebenfalls gemessen wird und die Ausgabe dieser Werte möglich ist. Stadtbus Winterthur hat diese Ausgabe in ihren Auswertungen bisher nicht implementiert, weswegen diese Daten zu Beginn der Arbeit nicht zur Verfügung standen. Die Untersuchung der Fahrgastwechselzeiten der verschiedenen Bustypen folgt in Kapitel 6.1.4.

### 6.1.2.3 Erkenntnisse

Die wichtigste Erkenntnis aus der Untersuchung der Haltezeit ist, dass die Haltezeiten abhängig sind von den installierten Ausführungen der Zählsysteme. Die Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse wird von Dilax untersucht. Beim Abschluss der Arbeit sind noch keine Ergebnisse vorgelegen.

Durch die unterschiedlichen Ausführungen der Zählsysteme können nur die Busse mit dem Zählsystem WEB und WEB ETH miteinander verglichen werden. Es ist erkennbar, dass die Busse Urbino, Trollino und Hess ähnliche Haltezeiten aufweisen. Beim Solaris Urbino Typ 2 liegt die Haltezeit durchschnittlich um etwa eine bis zwei Sekunden tiefer als bei den anderen Bussen (z.B. an der Haltestelle Schmidgasse und Stadthaus stadteinwärts). Die Differenzen zwischen den anderen Bustypen sind gering (< 1 Sekunde), weshalb es nicht möglich ist, eine Aussage dazu abzugeben. Es muss berücksichtigt werden, dass eine unterschiedliche Ausführung des Messsystems und die Messtoleranzen rasch einige Zehntelsekunden ausmachen können und dadurch die Ergebnisse beeinflussen.

Die Haltezeiten von den Ausführungen WEB und WEB ETH sind teilweise unter zehn Sekunden. Aufgrund der Messtechnik der Haltezeiten sind Haltezeiten von unter 15 Sekunden nicht realistisch. Deswegen werden die Haltezeiten, welche mit der Ausführung PCU 250 gemessen werden, als plausibel eingeschätzt. Würden die Haltezeiten für weitere Untersuchungen benötigt, müssten noch weitere Abklärungen zu den verschiedenen Ausführungen des automatischen Fahrgastzählsystems durchgeführt werden. Ansonsten sind keine verlässlichen Aussagen möglich. In dieser Arbeit werden die Haltezeiten nicht näher untersucht.

Relevante Erkenntnisse zur Fahrgastwechselzeit der vier Busse konnten keine gewonnen werden, dafür haben sich neue Möglichkeiten für die Untersuchung der Fahrgastwechselzeit ergeben. Dilax kann Daten zur Fahrgastwechselzeit aufbereiten und zur Verfügung stellen. Diese werden in Kapitel 6.1.4 untersucht. Zudem zeigt sich, dass die Haltezeit nicht nur von der Fahrgastwechselzeit, sondern von noch vielen weiteren Faktoren (Türöffnungs- und Türschliesszeit, Lösen der Haltestellenbremse) abhängig ist. Ein Fahrzeug mit einer kurzen Fahrgastwechselzeit hat nicht automatisch eine kurze Haltezeit.

### **6.1.3 Aufgezeichnete Haltezeiten der Leitstelle**

Die Haltezeiten der Leitstelle müssen aufgrund des Aufarbeitungs-Aufwandes eingegrenzt werden. Deswegen stehen nicht von allen Bustypen Haltezeiten zur Verfügung. Infolge der unterschiedlichen Innenraumgestaltung und den widersprüchlichen Aussagen zur Fahrgastwechselzeit aus dem Literaturansatz (vgl. Kapitel 6.1.1.4) und dem Fahrgastzählsystem (vgl. Kapitel 6.1.2.3) werden die Bustypen von Hess und MAN miteinander verglichen.

In diesem Kapitel werden die Haltezeiten der Leitstelle mit den vom Fahrgastzählsystem gemessenen Haltezeiten verglichen. In Kapitel 6.1.5 werden zudem die Haltezeiten der Leitstelle mit den Handmessungen vor Ort verglichen.

#### **6.1.3.1 Resultate**

Da der Hess Swisstrolley 3 ein Trolleybus ist, wird er nicht auf derselben Linie wie der Bus von MAN eingesetzt. Deswegen werden unterschiedliche Linien miteinander verglichen, einzelne Haltestellen werden auf beiden Linien angefahren.

Beim Vergleich der Haltezeiten aus dem automatischen Fahrgastzählsystem mit den Haltezeiten der Leitstelle sind die Differenzen der Messungen interessant, weswegen die untersuchte Linie eine untergeordnete Rolle spielt. In der Tabelle 17 sind die Durchschnittswerte einer untersuchten Linie dargestellt (Linie 1 beim Hess, Linie 7 beim MAN).

Tabelle 17: Vergleich der Haltezeiten der Leitstelle und aus dem AFAZ

	<b>MAN</b>	<b>Hess</b>
Durchschnitt Haltezeit AFAZ (ohne Endhaltestellen) [s]	22.4	20.1
Durchschnitt Haltezeit Leitstelle (ohne. Endhaltestellen) [s]	7.6	10.4
Durchschnittl. Abweichung der Messsysteme (ohne Endhaltestellen) [s]	14.8	9.7
Durchschnittl. Anzahl Ein- / Aussteiger pro Stopp	2.6	4.3

Quelle: Daten von Stadtbus Winterthur, Anhang 14

Beim Bus von MAN sind die Differenzen der beiden Messungen grösser. Zudem sind beim automatischen Fahrgastzählssystem während einer Fahrt (40 Haltestellen) dreimal keine Haltezeiten gemessen worden, obwohl der Bus angehalten und ein Fahrgastwechsel stattgefunden hat. Solche Messfehler sind beim Trolleybus von Hess nicht zu finden. Die gemessenen Haltezeiten aus dem automatischen Fahrgastzählssystem sind bei beiden Bussen deutlich höher als die Haltezeiten der Leitstelle. Der Grund dafür sind die unterschiedliche Messtechnik der Haltezeit bei der Leitstelle und dem AFAZ (vgl. Abbildung 15). Die Haltezeiten des automatischen Fahrgastzählsystems beim MAN sind im Vergleich zum Hess höher, obwohl weniger Fahrgäste ein- und aussteigen. Dies entspricht den Erkenntnissen aus Kapitel 6.1.2.3.

Beim Hess zeigt sich, dass die Haltezeiten der Leitstelle in der Regel zwischen drei und sieben Sekunden von den Haltezeiten des automatischen Fahrgastzählsystems abweichen. Bei einigen Messungen ist die Abweichung jedoch deutlich höher, weshalb der Durchschnittswert in der Tabelle 17 höher ist. Die Endhaltestellen wurden dabei nicht berücksichtigt. Die Haltezeiten der Leitstelle sind beim Hess höher als die des fünftürigen MAN. Dies ist auf die grössere Anzahl an Ein- und Aussteiger, aber auch auf die Differenz bei der Anzahl Türen zurückzuführen.

### 6.1.3.2 Erkenntnisse

Die Unterschiede der Haltezeiten der Leitstelle zwischen dem MAN und dem Hess erscheinen plausibel. Da die Leitstelle die Haltezeit aufgrund der Steuerung durch Knopfdruck misst, sind die Werte fahrerspezifisch. Aus diesem Grund können die Haltezeiten der Leitstelle der Busse MAN und Hess nicht verglichen werden. Um Aussagen zu den Differenzen der einzelnen Bustypen machen zu können, müssten die Fahrer informiert werden, dass sie die Türschliessung erst nach dem letzten Fahrgastwechsel beantragen.

Die Haltezeiten aus dem automatischen Fahrgastzählsystem weichen stark voneinander ab. Dies entspricht den Erkenntnissen aus Kapitel 6.1.2.3. Aus diesem Grund wird im nächsten Kapitel die Fahrgastwechselzeit aus dem automatischen Fahrgastzählsystem untersucht.

#### **6.1.4 Automatisches Fahrgastzählsystem: Fahrgastwechselzeit**

Wie in Kapitel 5.5.1.3.1 beschrieben, können mit der nicht türscharfen Fahrgastwechselzeit die unterschiedlichen Bustypen miteinander verglichen werden. Die Fahrgastwechselzeit wird in ganzen Sekunden gemessen. Bei kleinen Fahrgastwechseln werden die Zeiten somit über- oder unterschätzt (abhängig ob die Werte auf- oder abgerundet werden). Bei grossen Fahrgastwechseln sind genauere Aussagen möglich, da die Fahrgastwechselzeit grösser ist und einzelne Sekunden verhältnismässig kleinere Unterschiede machen. Für die Untersuchung stehen grosse Datensätze zur Verfügung (1'000 bis 20'000 Messungen pro Bustyp), weshalb angenommen wird, dass die Genauigkeit bei allen Bussen ähnlich ist. Eine gewisse Ungenauigkeit bleibt jedoch bestehen.

Dadurch, dass die Daten aus dem Fahrgastzählsystem nicht türscharf sind, ist bei Fahrgastwechseln von mehr als einer Person nicht bekannt, ob die Fahrgäste gleichmässig auf die Türen verteilt sind oder ob alle Fahrgäste an derselben Türe ein- und aussteigen. Diese Unterscheidung hat einen grossen Einfluss auf die durchschnittliche Fahrgastwechselzeit pro Person. Für die Auswertung wird angenommen, dass die Fahrgastverteilung auf die Türen über den ganzen Datensatz gesehen bei allen Bussen ähnlich ist. Dadurch kann die Fahrgastwechselzeit pro Person bei den unterschiedlichen Bustypen miteinander verglichen werden.

Zu beachten ist zudem, dass die Aussteiger je nach Innenraumgestaltung eventuell später bei den Türen sind oder der Zustrom weniger stark ist. Dieser Einfluss wird mit Hilfe der Resultate abgeschätzt. Auch das Haltestellendesign kann einen Einfluss auf die Einsteiger haben. Je nach Haltestelle verteilen sich diese weniger gleichmässig auf die Türen, weshalb die Auswertung haltestellen- und fahrtrichtungsspezifisch erfolgen muss.

Um eine erste Aussage zu machen, wird zuerst, wie bereits in Kapitel 6.1.2.1, eine multiple Regression durchgeführt. Danach werden die Fahrgastwechselzeiten der verschiedenen Busmodelle miteinander verglichen. Die Ergebnisse sind in Kapitel 6.1.4.2 zu finden.

##### **6.1.4.1 Multiple Regression**

In der multiplen Regression wird ermittelt, welche Faktoren einen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit haben. Dabei werden die Haltestellen, die Anzahl Ein- und Aussteiger und die unterschiedlichen Bustypen betrachtet. Die Regression wird mit den ganztägigen Daten und den Daten aus der HVZ durchgeführt. Die Endhaltestellen werden nicht berücksichtigt, da die

Fahrgastwechselzeit dort aufgrund der langen Aufenthaltsdauer der Busse zu hoch ist. Folgende Aussagen können gemacht werden:

- Zwischen den Daten der HVZ und den ganztägigen Daten ist bei den Bustypen kein Unterschied zu erkennen.
- In der HVZ am Morgen ist die Fahrgastwechselzeit pro Person geringer als über den ganzen Tag gesehen (-0.05 s/P). In der HVZ am Abend ist sie höher als über den ganzen Tag gesehen (+0.08 s/P).
- In der HVZ ist der Einfluss der Ein- und Aussteiger etwas geringer als über den ganzen Tag gesehen (ca. -0.1 s/P).
- Die Einsteiger haben einen grösseren Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit als die Aussteiger (+0.97 s/P vs. +0.65 s/P).
- Der fünftürige Bus weist tiefere Fahrgastwechselzeiten auf als die viertürigen (-1.32 Sekunden pro Stopp gegenüber dem Hess im Durchschnitt).
- Der Solaris Urbino Typ 2 und Typ 3 weisen die besten Fahrgastwechselzeiten der viertürigen Busse auf (-0.5 Sekunden pro Stopp gegenüber dem Hess im Durchschnitt). Die Resultate des Typ 1 und Trollino sind mit dem Hess zu vergleichen.
- Je mehr Fahrgäste im Fahrzeug sind, desto höher ist die Fahrgastwechselzeit. Der Einfluss ist jedoch mit +0.013 s/P eher gering.
- Die Unterschiede bei der Fahrgastwechselzeit zwischen den viertürigen Bustypen sind gering (Spannbreite = 1.5 Sekunden, Durchschnittswert).

#### **6.1.4.2 Resultate**

##### **6.1.4.2.1 Durchschnittliche Fahrgastwechselzeit der verschiedenen Bustypen**

Um eine erste Aussage zu machen, wird mit den vorhandenen Daten die durchschnittliche Fahrgastwechselzeit und die durchschnittliche Anzahl Ein- und Aussteiger der verschiedenen Bustypen berechnet. Die wichtigsten Resultate der Auswertung von allen Daten sind Tabelle 18 zu entnehmen. Dabei ist die durchschnittliche Fahrgastwechselzeit, die Standardabweichung der Fahrgastwechselzeit und die mittlere Anzahl an Fahrgastwechsel zu sehen. In der Auswertung werden die Endhaltestellen nicht berücksichtigt. Zudem ist die totale Anzahl an Messungen pro Bus abgebildet. Die Resultate sind in Anhang 15 zu finden. Im Anhang 9 sind zudem die Histogramme zur Fahrgastwechselzeit dargestellt.

Tabelle 18: Fahrgastwechselzeit und Anzahl Ein- und Aussteiger je Bustyp

<b>Bustyp</b>	<b>Bus-Nr.</b>	<b>Φ Fahrgastwechselzeit [s]</b>	<b>Standardabweichung FGWZ [s]</b>	<b>Φ Anzahl Ein- und Aussteiger [P]</b>	<b>Anzahl Daten</b>
MAN Lion's City	Nr. 358	3.14	4.13	3.82	16'142
	Nr. 359	3.27	4.37	3.93	13'933
Hess Swisstrolley 3	Nr. 103	5.25	4.57	4.74	12'128
	Nr. 104	5.21	4.85	4.71	12'963
Solaris Trollino	Nr. 172	5.32	5.06	4.65	9'374
	Nr. 173	4.20	4.81	3.69	737
	Nr. 174	5.52	4.94	5.12	6'674
Solaris Urbino Typ 1	Nr. 332	4.28	4.93	3.64	11'730
	Nr. 336	4.48	4.90	3.55	17'794
Solaris Urbino Typ 2	Nr. 341	4.89	6.08	4.93	978
	Nr. 342	4.21	5.60	4.11	1'983
Solaris Urbino Typ 3	Nr. 347	4.09	4.61	3.56	14'752

Quelle: Daten von Dilax, 01.01.17 – 11.04.17, Linie 1, 5 und 7 in Winterthur, ohne Endhaltestellen, Anhang 15

In Tabelle 18 ist zu sehen, dass die Busse eine durchschnittliche Fahrgastwechselzeit von drei bis sechs Sekunden aufweisen. Der MAN hat die tiefste durchschnittliche Fahrgastwechselzeit, wobei am wenigsten Fahrgäste ein- und aussteigen. Die Standardabweichungen der Fahrgastwechselzeit sind bei den meisten Bussen nahe beieinander. Einzig die beiden Solaris Urbino Typ 2 Busse weisen etwas höhere Standardabweichungen auf. Bei diesen beiden Bussen sind aber auch am wenigsten Daten vorhanden, weswegen die Streuung etwas grösser ist.

Im Allgemeinen ist der durchschnittliche Fahrgastwechsel auf den Trolleybussen höher als bei den Autobussen. In den erhaltenen Daten sind die Messungen der Trollino Busse Nr. 172, Nr. 173 und Nr. 174 enthalten. Da jedoch von den Bussen Nr. 172 und Nr. 174 mehr Daten vorhanden sind, wird die Nr. 173 nicht weiter bearbeitet. Beim Solaris Urbino Typ 2 sind sowohl bei der Nr. 341 als auch bei der Nr. 342 wenige Messwerte enthalten. Da bei beiden Bustypen deutlich weniger Daten zur Verfügung stehen als bei den anderen Bussen, werden in den weiteren Auswertungen beide Bustypen betrachtet.



Aufgrund der ähnlichen Ergebnisse der Busse vom selben Modell wird davon ausgegangen, dass das Messsystem bei allen Bussen identisch misst. Eine gewisse Ungenauigkeit kann nicht verhindert werden.

#### 6.1.4.2.2 Durchschnittliche Fahrgastwechselzeit pro Person

Mit den ganztägigen Daten und den Daten aus der HVZ wird für die Bustypen die Fahrgastwechselzeit pro Person berechnet. In der HVZ sind die Daten vom Wochenende nicht enthalten. In Tabelle 19 ist der Mittelwert der einzelnen Bustypen dargestellt. Die ausführliche Berechnung ist in Anhang 15 zu finden.

Tabelle 19: Durchschnittliche Wechselzeit pro Person

Bustyp	Bus-Nr.	Fahrgastwechselzeit pro Person [s/P]		
		Ganztägig	HVZ Morgen	HVZ Abend
MAN Lion's City	Nr. 358	0.88	0.86	0.86
	Nr. 359	0.88	0.83	0.87
Hess Swisstrolley 3	Nr. 103	1.2	1.13	1.18
	Nr. 104	1.18	1.11	1.31
Solaris Trollino	Nr. 172	1.24	1.14	1.30
	Nr. 174	1.17	1.12	1.16
Solaris Urbino Typ 1	Nr. 332	1.23	1.19	1.17
	Nr. 336	1.34	1.27	1.34
Solaris Urbino Typ 2	Nr. 341	1.08	0.91	1.15
	Nr. 342	1.09	0.98	1.07
Solaris Urbino Typ 3	Nr. 347	1.15	1.09	1.13

Quelle: Daten von Dilax, 01.01.17 – 11.04.17, Linie 1, 5 und 7 in Winterthur, Anhang 15

Die Resultate zeigen, dass die beiden Fahrzeuge vom MAN ähnlich abschneiden. Auch beim Hess und Solaris Urbino Typ 2 ist dies zu erkennen. Bei den anderen Bustypen sind die Differenzen untereinander grösser. In der HVZ am Abend weichen die Werte zwischen den Fahrzeugen desselben Fahrzeugtypes stärker voneinander ab. Dies liegt daran, dass in der HVZ nicht mehr so viele Daten zur Verfügung stehen und dadurch die Streuung grösser ist.

Beim Solaris Trollino und Urbino Typ 1 sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrzeugen im Vergleich zu den anderen Bustypen gross. Aus diesem Grund werden alle Solaris

Modelle in einem T-Test miteinander verglichen, um zu prüfen ob sich die Daten derselben Fahrzeugtypen unterscheiden (vgl. Anhang 16).

Der T-Test ergibt, dass sich die Datensätze der Fahrzeuge Nr. 172 und Nr. 174 (Trollino) sowie Nr. 332 und Nr. 336 (Urbino Typ 1) signifikant unterscheiden. Dies bedeutet, dass die Datensätze der beiden Fahrzeuge nicht miteinander verglichen werden können. Einzig die Fahrzeuge Nr. 341 und Nr. 342 (Urbino Typ 2) weisen ähnliche Daten auf. Die Differenzen zwischen den Fahrzeugen sind einerseits auf die unterschiedlichen Linien, auf welchem die Busse eingesetzt werden, andererseits wohl auf das Messsystem zurückzuführen. Die Fahrgastwechselzeit pro Person ist in Hundertstelsekunden angegeben. Die Fahrgastwechselzeiten werden in Sekunden gemessen, was zum Teil zu Ungenauigkeiten führen kann (vgl. Kapitel 6.1.4). Unter dieser Voraussetzung sind die Datensätze der einzelnen Bustypen nahe beieinander, um Aussagen machen zu können. Aufgrund der verschiedenen zu untersuchenden Bustypen wird pro Bustyp nur ein Fahrzeug vertieft untersucht. Da mehr Daten von den Bussen Nr. 172 und Nr. 336 zur Verfügung stehen, werden diese beiden Busse gewählt. Detailliertere Angaben sind dem Anhang 16 zu entnehmen.

Die Resultate belegen, dass der fünftürige Bus von MAN die kürzesten Fahrgastwechselzeiten aufweist. Der Solaris Urbino Typ 2 weist von den viertürigen Modellen die kürzesten Wechselzeiten auf und der Hess Swisstrolley 3 schneidet besser ab, als es die Berechnungen in Kapitel 6.1.1 vermuten liessen. Zudem ist ersichtlich, dass die verschiedenen Modelle vom Solaris Urbino grosse Unterschiede aufweisen. Der Solaris Urbino Typ 1 schneidet im Vergleich zum Typ 2 und 3 schlechter ab, was auf die unterschiedliche Innenraumgestaltung schliessen lässt, da das Fahrzeug ansonsten identisch ist. Der Solaris Trollino schneidet ähnlich zum Solaris Urbino Typ 3 ab. Diese beiden Bustypen weisen eine ähnliche Innenraumgestaltung auf. Einzig beim Zugang zum Gelenk sind im hinteren Bereich bei der Sitzplatzanordnung Unterschiede zu erkennen. Der Trollino hat quer angeordnete Sitzplätze, während beim Urbino Typ 3 ein Viererabteil vorhanden ist.

Die Auswertung in Anhang 15 zeigt, dass in der HVZ am Abend mehr Fahrgäste ein- und aussteigen als in der HVZ am Morgen. Zwischen den ganztägigen Daten und den Daten in der HVZ am Morgen sind nur geringe Unterschiede zu erkennen. Die Ergebnisse der HVZ sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da die Datensätze vergleichsweise klein sind.

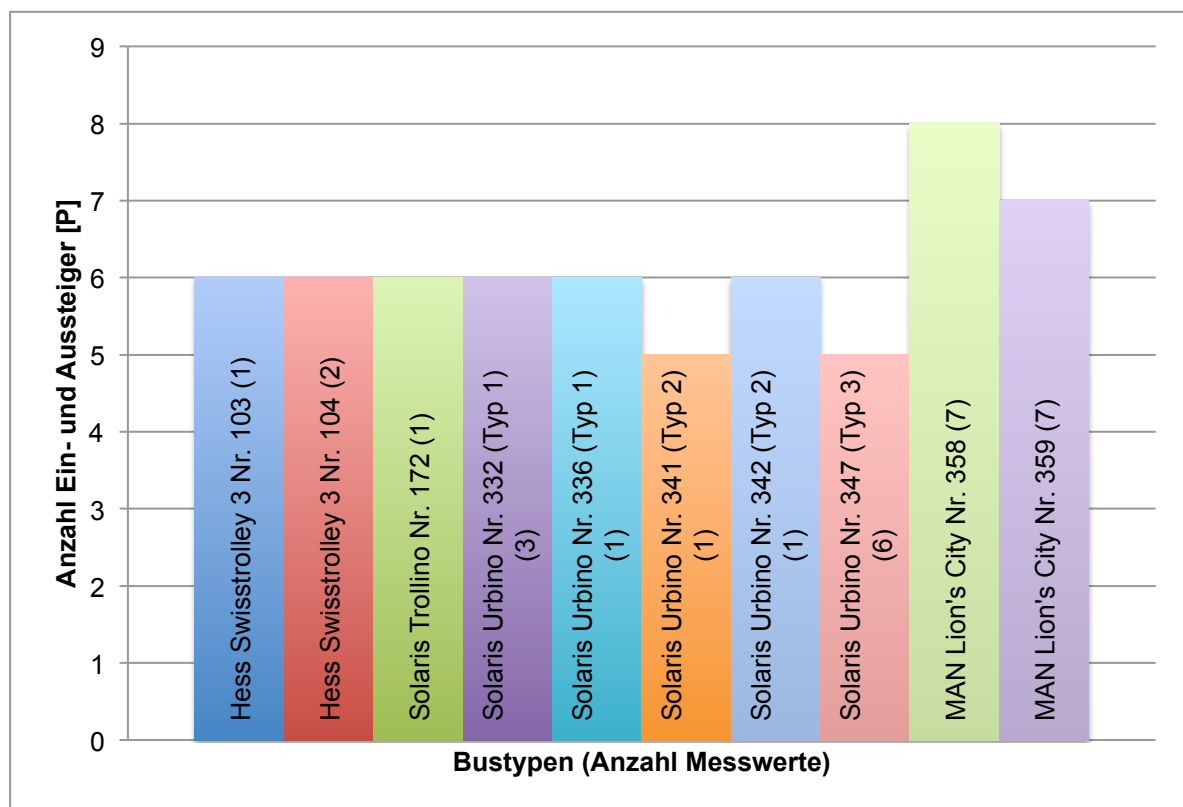
Zudem ist ersichtlich, dass die Wechselzeit pro Person in der HVZ am Morgen bei den meisten Bussen geringer ist als in der HVZ am Abend oder über den ganzen Tag gesehen. Die schnellere Fahrgastwechselzeit am Morgen wird in Kapitel 3.1.3.1 in Literaturstudien bestätigt und kann verschiedene Gründe haben (U. Weidmann, System- und Netzplanung 2015):

- Der Fahrgast ist am Morgen zeitlich unter Druck, da er pünktlich zur Arbeit oder in der Schule erscheinen muss. Am Abend ist der Zeitdruck im Vergleich zum Morgen kleiner.

- Die Morgenspitze ist konzentrierter als die Abendspitze und die Fahrgäste nehmen Komforteinbussen in Kauf.

In einem nächsten Schritt wird geprüft, wie viele Fahrgäste bei den verschiedenen Bustypen in einer Sekunde maximal ein- und aussteigen können. Die Resultate sind in Abbildung 20 dargestellt.

Abbildung 20: Maximalwerte der Anzahl Ein- und Aussteiger in einer Sekunde



Quelle: Daten von Dilax, 01.01.17 - 11.04.17

Das Ergebnis aus der multiplen Regression sagt, dass der Fahrgastwechsel beim fünftürigen MAN Lion's City schneller abläuft als bei den viertürigen Modellen. Dies wird mit Abbildung 20 bestätigt. Aus Tabelle 19 und Abbildung 20 geht hervor, dass die Bustypen in Bezug auf die Fahrgastwechselzeit folgendermassen abschneiden (absteigend):

1. MAN Lion's City
2. Solaris Urbino Typ 2
3. Hess
4. Solaris Trollino / Solaris Urbino Typ 3
5. Solaris Urbino Typ 1

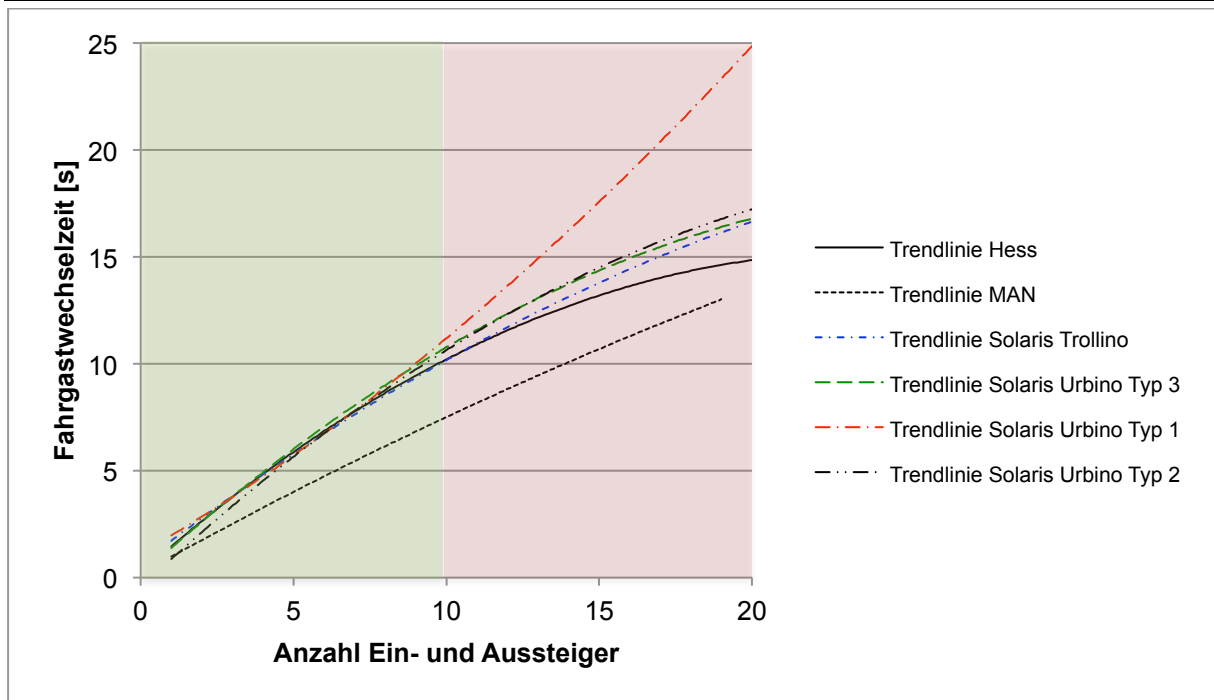
Um die Bustypen detaillierter untersuchen zu können, werden die Fahrgastwechselzeiten haltestellen- und tageszeitspezifisch untersucht. Das Haltestellendesign wird für die Busse für ausgewählte Haltestellen getrennt analysiert (vgl. Kapitel 4.3). In diesem Kapitel werden Einflüsse wie die Länge der Haltekante oder die dezentrale Anordnung des Wartehauses untersucht.

Mit dem Bestimmtheitsmass  $R^2$  kann geprüft werden, wie gut ein Regressionsmodell mit den Daten übereinstimmt. In Diagrammen werden die Fahrgastwechselzeit und die Anzahl Ein- und Aussteiger für die unterschiedlichen Busse und Haltestellen dargestellt. Den Daten wird eine Regressionslinie zu Grunde gelegt. Theoretisch sollte diese degressiv verlaufen, da die Fahrgastwechselzeit mit zunehmenden Ein- und Aussteigerzahlen abnehmen sollte. Je mehr Personen ein- und aussteigen, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Fahrgäste einigermaßen gleichmässig auf die Türen verteilt sind. Dadurch sinkt die durchschnittliche Fahrgastwechselzeit pro Person. Zudem stehen die Aussteiger enger im Türraum, je mehr Fahrgäste aussteigen wollen, was die Wechselzeit pro Person senkt. Zur Überprüfung wurden den Daten eine lineare und eine quadratische Regressionsgerade zu Grunde gelegt. Die Resultate in Anhang 17 zeigen, dass die quadratische Regressionslinie realistischer ist.

Die Haltestellen Brühlack stadteinwärts und Stadthaus stadteinwärts weisen mit einem Bestimmtheitsmass von beinahe 0.7 die besten Übereinstimmung auf. Bei anderen Haltestellen, wie zum Beispiel Loki stadtauswärts liegt der  $R^2$ -Wert nur bei etwa 0.2 bis 0.4.

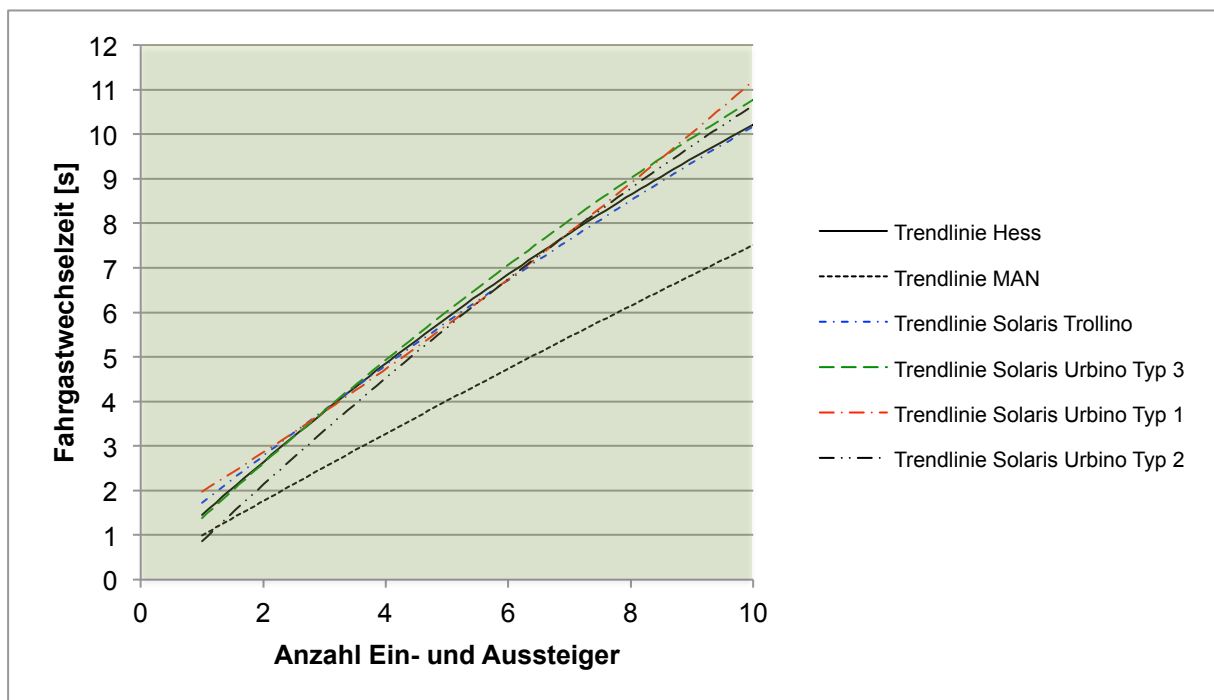
Der Verlauf der Regressionslinie ist jedoch nur so lange plausibel, wie genügend Daten zur Verfügung stehen. Deswegen werden für die unterschiedlichen Bustypen die 75%- und 90%-Quantile berechnet. Oberhalb des 90%-Quantils ist die Aussage der Regressionsgerade unsicher. Die Quantile werden mit Hilfe der Histogramme in Anhang 10 berechnet. Das 75%-Quantil liegt bei allen Bustypen innerhalb von vier bis acht Ein- und Aussteigern (total). Das 90%-Quantil liegt zwischen sieben und zwölf Ein- und Aussteigern (total). Für die Auswertung werden die Regressionslinien nur bis zu zehn Ein- und Aussteigern (total) betrachtet, da dies ungefähr dem Mittelwert des 90%-Quantils entspricht (vgl. grüner Bereich, Abbildung 21 und Abbildung 23). Bei mehr als zehn Ein- und Aussteiger werden die Regressionslinien durch einzelne Extremalwerte verfälscht. In Abbildung 22 und 24 sind Ausschnitte von Abbildung 21 und 23 dargestellt. Mit Hilfe von diesen Diagrammen wurde die Fahrgastwechselzeit der einzelnen Busse haltestellenspezifisch abgeschätzt (vgl. Anhang 18, Datenpunkte sind enthalten). In den Diagrammen sind aufgrund der Darstellbarkeit nur die sechs Busse mit dem grössten Datensatz des jeweiligen Bustyps dargestellt (vgl. Anfang Kapitel 6.1.4.2.2).

Abbildung 21: Fahrgastwechselzeit vs. Anzahl Ein- und Aussteiger Stadthaus stadteinwärts



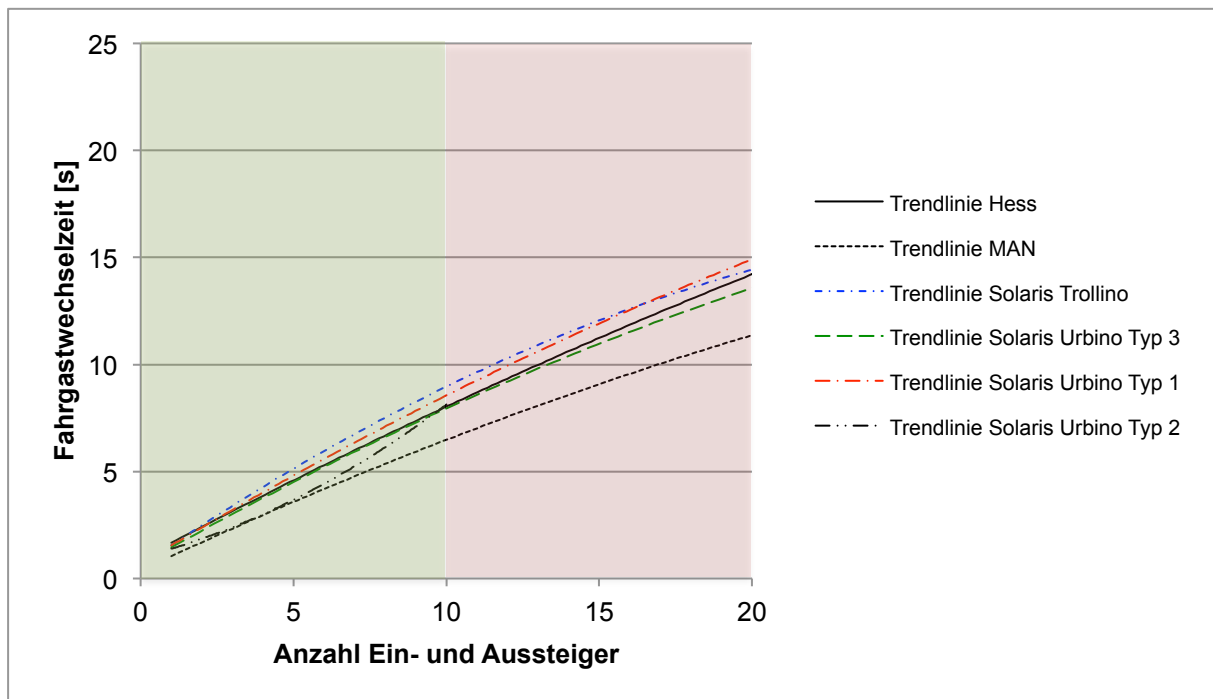
Quelle: Daten von Dilax, 01.01.17 - 11.04.17, ganztägig

Abbildung 22: Ausgewählter Bereich Fahrgastwechselzeit vs. Anzahl Ein- und Aussteiger, Stadthaus stadteinwärts



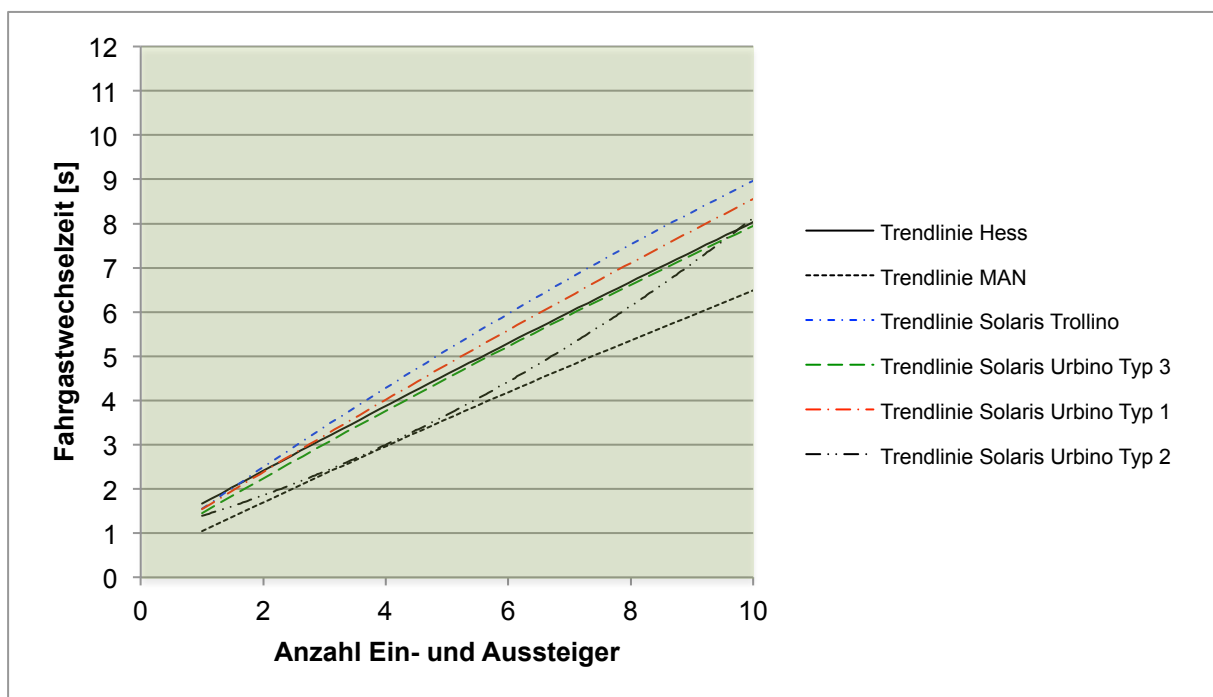
Quelle: Daten von Dilax, 01.01.17 – 11.04.17, ganztägig

Abbildung 23: Fahrgastwechselzeit vs. Anzahl Ein- und Aussteiger Brühleck stadtauswärts



Quelle: Daten von Dilax, 01.01.17 - 11.04.17, ganztägig

Abbildung 24: Ausgewählter Bereich Fahrgastwechselzeit vs. Anzahl Ein- und Aussteiger, Brühleck stadtauswärts



Quelle: Daten von Dilax, 01.01.17 – 11.04.17, ganztägig

Aus den getrennt untersuchten Haltestellen zeigt sich, dass der fünftürige Bus bei allen Haltestellen die kürzeste Fahrgastwechselzeit aufweist. Bei den viertürigen Bussen ist keine eindeutige Aussage zu machen, da sich die Fahrgastwechselzeit von Haltestelle zu Haltestelle unterscheidet. Allgemein ist zu sagen, dass die Fahrgastwechselzeiten bei den viertürigen Bussen bei Fahrgastwechseln von weniger als zehn Personen nahe beisammen liegt. An der Haltestelle Brühleck sind die Unterschiede zwischen den viertürigen Bussen etwas grösser als an der Haltestelle Stadthaus (vgl. Abbildung 24 und Abbildung 22). Auf den Einfluss des Haltestellendesigns wird in Kapitel 6.3 näher eingegangen.

Um die Resultate von Tabelle 19 und Abbildung 20 zu überprüfen, werden die in Kapitel 4.3 ausgewählten Haltestellen mit Hilfe von den Diagrammen in Anhang 18 untersucht. Die Auswertung ist in Anhang 15 zu finden. Daraus gehen folgende Ergebnisse hervor:

Tabelle 20: Fahrgastwechselzeit pro Person je Bustyp und Anzahl Ein- und Aussteiger

Bustyp		Anzahl Ein- und Aussteiger total [P]		
		4	6	8
MAN Nr. 359	[s/P]	0.83	0.79	0.76
Hess Nr. 104	[s/P]	1.08	1.01	0.95
	Differenz zu MAN	30.1 %	27.8 %	25 %
Trollino Nr. 172	[s/P]	1.11	1.05	1.00
	Differenz zu MAN	33.7 %	32.9 %	31.6 %
Urbino Typ 1 Nr. 336	[s/P]	1.14	1.08	1.03
	Differenz zu MAN	37.3 %	36.7 %	35.5 %
Urbino Typ 2 Nr. 342	[s/P]	1.00	0.96	0.91
	Differenz zu MAN	20.5 %	21.5 %	19.7 %
Urbino Typ 3 Nr. 347	[s/P]	1.07	1.02	0.97
	Differenz zu MAN	28.9 %	29.1 %	27.6 %

Quelle: Daten von Dilax, 01.01.17-11.04.17, ganztägig, ausgewählte Haltestellen, Anhang 15

Bei den viertürigen Modellen sind die Differenzen der Fahrgastwechselzeiten untereinander im Vergleich zum fünftürigen Bus deutlich geringer. Es ist zu beachten, dass vom Solaris Urbino Typ 2 verhältnismässig wenige Daten vorhanden sind. Aus diesem Grund konnten einige Haltestellen bei diesem Bus nicht berücksichtigt werden (vgl. Anhang 15).

Der MAN schneidet deutlich besser ab als die viertürigen Modelle. Bei Fahrgastwechseln von weniger als zehn Personen ist die Fahrgastwechselzeit pro Person um durchschnittlich 20 % tiefer als beim zweitbesten Modell. Bei einer durchschnittlichen Fahrgastwechselzeit von 3.2 Sekunden (vgl. Tabelle 18) entspricht dies einer Zeitersparnis von circa 0.6 Sekunden. Diese Resultate entsprechen nicht den Herstellerangaben von 36 % (vgl. Abbildung 8),

wobei dort ausschliesslich Fahrgastwechsel von mehr als zehn Personen beachtet wurden und nicht klar ist, welcher viertürige Bus als Referenz genommen wurde. In den Daten von Stadtbus Winterthur sind nur wenige Fahrgastwechsel von mehr als zehn Personen enthalten, weswegen diese Aussage nicht geprüft werden kann. Am Hauptbahnhof gibt es viele grosse Fahrgastwechsel, jedoch wartet der Bus dort den Fahrplan ab, weshalb die Fahrgastwechselzeit der Wartezeit entspricht. Mit den untersuchten Daten kann allerdings gesagt werden, dass die Differenz der Fahrgastwechselzeit pro Person bei den viertürigen Bussen im Vergleich zum fünftürigen Bus mit zunehmender Anzahl Ein- und Aussteiger eher kleiner wird (vgl. Tabelle 20).

Die Gründe für eine höhere Fahrgastwechselzeit bei gleichtürigen Bussen sind unterschiedlich und können nicht eindeutig zugewiesen werden. Die Abbildung 21, Abbildung 23 und die Tabelle 20 zeigen, dass der Einfluss der zusätzlichen fünften Türe grösser ist, als die Unterschiede in der Innenraumgestaltung. Mögliche Gründe für eine höhere Fahrgastwechselzeit bei gleicher Anzahl Türen sind:

- Tiefere Türleistungsfähigkeit (z.B. bei Hess)
- Ungleichmässige Fahrgastverteilung im Fahrzeug / an Haltestelle
- Ungünstige Innenraumgestaltung  $\Rightarrow$  schlechter Fahrgastzufluss zu den Türen

Der Solaris Urbino Typ 1 schneidet von allen betrachteten Bustypen am schlechtesten ab. Wird die Innenraumgestaltung näher betrachtet, ist zu erkennen, dass der Bereich hinter dem Gelenk bei allen Solaris Urbino Bussen identisch ist. Im vorderen Bereich steht jedoch beim Typ 1 weniger Stehplatzfläche zur Verfügung als bei den Typen 2 und 3. Beim Typ 2 ist gegenüber der zweiten Türe mehr Stehplatzfläche vorhanden als beim Typ 1. Beim Typ 3 ist zwischen der ersten und zweiten Türe zusätzliche Stehplatzfläche vorhanden. Durch die fehlende Stehplatzfläche beim Typ 1 stehen mehr Fahrgäste im Türraum und versperren den Aussteigern schneller den Zugang zur Türe. Zudem steht weniger Manövrierfläche zur Verfügung, was insbesondere bei grösseren Fahrgastwechseln zu Konflikten führen kann. Dies führt dazu, dass der Urbino Typ 1 etwa 15 % schlechter als der Urbino Typ 2 und knapp 10 % schlechter als der Urbino Typ 3 abschneidet. Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Fahrgastwechselzeit von 4.5 Sekunden ungefähr einer Zeiteinbusse von 0.7 Sekunden vom Solaris Urbino Typ 1 gegenüber dem Typ 2.

Werden der Solaris Urbino Typ 2 und Typ 3 miteinander verglichen, sind die Aussagen aus der Betrachtung aller Daten und den haltestellengetrennten Datensätze unterschiedlich. Da zum Solaris Urbino Typ 2 wenig Daten vorhanden sind, haben einzelne hohe Messungen bei der haltestellengetrennten Untersuchung einen grossen Einfluss auf das Resultat. Aus diesem Grund sind die Resultate aus Tabelle 19 verlässlicher. Allerdings zeigt sich, dass die Differenzen zwischen den Bussen klein sind. Die unterschiedlichen Fahrgastwechselzeiten sind ebenfalls auf die Innenraumgestaltung zurückzuführen. Beim Typ 2 ist gegenüber der



zweiten Türe eine Stehplatzfläche angeordnet. Diese ist für die Einsteiger besser zugänglich, da keine starke Richtungsänderung vorgenommen werden muss. Weiter können Fahrgäste mit Kinderwagen rasch einsteigen. Bei einer Anordnung der Stehplatzfläche direkt neben der Türe muss der Kinderwagen gedreht werden, was den Fahrgastwechsel verlangsamt.

Der Solaris Trollino schneidet ähnlich ab wie der Solaris Urbino Typ 3. Im vorderen Bereich sind die beiden Bustypen ähnlich, wobei beim Solaris Urbino Typ 3 etwas mehr Stehfläche vorhanden ist ( $9 \text{ m}^2$  vs.  $8.4 \text{ m}^2$ ). Der Solaris Trollino hat im hinteren Bereich bei der dritten Türe nur wenig Stehfläche, weil gegenüber der Türe ein Viererabteil angeordnet ist. Hingegen ist der Zugang zum Gelenk offener, da die Sitzplätze zwischen der Türe und dem Gelenk seitlich angeordnet sind. (vgl. Kapitel 4.2.3). Wie die Resultate vom Urbino Typ 1 zeigen, ist Stauraumfläche wichtig, damit die Fahrgäste nicht im Türraum stehen und andere Fahrgäste behindern. Sowohl beim Solaris Urbino Typ 2 und 3 als auch beim Solaris Trollino ist durch die Innenraumgestaltung mehr Stauraum vorhanden als beim Solaris Urbino Typ 1. Aus diesem Grund schneiden diese Bustypen besser ab.

Werden die Resultate der in Kapitel 4.3 ausgewählten Haltestellen ausgewertet, ergibt sich bei den viertürigen Bussen folgende Rangierung betreffend Fahrgastwechselzeit (vgl. Tabelle 20 und Anhang 15):

1. MAN Lion's City
2. Solaris Urbino Typ 2
3. Solaris Urbino Typ 3
4. Hess
5. Solaris Trollino
6. Solaris Urbino Typ 1

Der Solaris Urbino Typ 2 schneidet von den viertürigen Bussen am besten ab. Bei den restlichen Bussen zeigt sich, dass der Solaris Urbino Typ 3 sowie der Hess ebenfalls gut abschneiden (vgl. Tabelle 19 und Tabelle 20). Vor allem beim Hess ist dies überraschend, da die mathematische Überprüfung mit dem Literaturansatz nach Weidmann diesen Bus am schlechtesten eingestuft hat (vgl. Kapitel 6.1.1). Um eine definitive Aussage zu den Bustypen machen zu können, müssten jedoch türscharfe Daten ausgewertet werden.

Die Fahrgastverteilung in den Fahrzeugen von MAN und Hess wird in Kapitel 6.2 detailliert untersucht. Allenfalls sind mit diesen Ergebnissen die Resultate vertiefter zu begründen.

#### 6.1.4.2.3 Einfluss der Fahrzeugauslastung auf die Fahrgastwechselzeit

Bei der Untersuchung der Daten, wird der Einfluss der Fahrzeugauslastung auf die Fahrgastwechselzeit separat untersucht. In einem Forschungsauftrag des SVI wurde bei Untersuchungen festgestellt, dass ab einer Stehplatzdichte von ungefähr  $2 \text{ P/m}^2$  die Fahrgastwechselzeit deutlich zunimmt. Bei einer Personendichte von  $3 \text{ P/m}^2$  erreicht die Fahrgastwechselzeit ungefähr die 1.3 fache Zeit (Weidmann, Dorbritz, et al. 2011b). Für die Überprüfung wird angenommen, dass 90 % der Sitzplätze belegt sind und die restlichen Fahrgäste im Fahrzeug stehen. Dies ergibt für die unterschiedlichen Fahrzeuge folgende Grenzdichten von  $2 \text{ P/m}^2$ :

Tabelle 21: Fahrzeugauslastung bei Stehplatzdichte von  $2 \text{ P/m}^2$

	<b>90 % der Sitzplätze (auf- / abgerundet)</b>	<b>Stehfläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Anzahl Fahrgäste bei Stehplatzdichte von <math>2 \text{ P/m}^2</math> (total)</b>
MAN	35	21.5	78
Hess	40	21	82
Solaris Trollino	42	18.6	79
Solaris Urbino Typ 1	37	19.6	76
Solaris Urbino Typ 2	36	20.5	77
Solaris Urbino Typ 3	38	20.5	78

Quelle: Anhang 3

Der Einfluss der Fahrzeugauslastung ist auf die Ein- oder Aussteiger unterschiedlich (vgl. Kapitel 3.1.3.4). In dieser Arbeit werden die Ein- und Aussteiger jedoch nicht getrennt betrachtet. Für die Untersuchung werden auch die Messungen vom Wochenende betrachtet.

Bei Beobachtungen vor Ort wurde festgestellt, dass die Fahrgäste hauptsächlich die Sitzplätze belegen, solange diese frei sind. Sobald die Sitzplätze zu etwa 70 % bis 80 % besetzt sind, wählen die Fahrgäste Stehplätze. Gemäss Tabelle 21 und der oben erwähnten Literaturstudie steigt die Fahrgastwechselzeit ab einer Fahrzeugauslastung von etwa 80 Fahrgästen deutlich an. Für Untersuchungen bei Fahrzeugauslastungen über 80 Fahrgästen stehen nur wenige Messungen zur Verfügung, weswegen diese nicht aussagekräftig sind. Deswegen wird die Fahrgastwechselzeit bei einer Auslastung von mehr als 75 Fahrgästen mit einer Fahrzeugauslastung von unter 20 Personen verglichen. Erste Erkenntnisse können daraus bereits gewonnen werden. Fahrzeugauslastungen von Stehplatzdichten mit  $3 \text{ P/m}^2$  können aufgrund fehlender Daten nicht überprüft werden.

Die wichtigsten Resultate sind in Tabelle 22 ersichtlich. Die ausführlichen Resultate mit den Fahrgastwechselzeiten, den Anzahl Daten pro Bustyp und weiteren Fahrzeugauslastungen sind in Anhang 19 zu finden.

Tabelle 22: Einfluss der Fahrzeugauslastung auf die Fahrgastwechselzeit pro Person

<b>Bus-Nr.</b>	<b>Φ FGW Personensaldo &lt; 20 Daten [P]</b>	<b>Φ FGW Personensaldo ≥ 75 [P]</b>	<b>Φ FGWZ pro Person Personensaldo &lt; 20 [s/P]</b>	<b>Φ FGWZ pro Person Personensaldo ≥ 75[s/P]</b>
MAN Nr. 358	2.61	9.03	0.82	0.96
Hess Nr. 103	4.55	9.56	1.11	1.21
Trollino Nr. 172	4.53	8.5	1.13	1.47
Urbino T1 Nr. 336	3.99	10.67	1.29	1.36
Urbino T2 Nr. 342	3.27	15.33	0.96	1.48
Urbino T3 Nr. 347	3.60	8.67	1.15	1.17

Quelle: Daten Dilax, 01.01.17-11.04.17, ganztägig ohne Endhaltestellen

Tabelle 22 zeigt, dass die Fahrzeugauslastung bereits einen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit hat, bevor die Stehplatzdichte exakt  $2 \text{ P/m}^2$  entspricht. Bei allen Bussen mit einer höheren Fahrzeugauslastung gibt es auch grössere Fahrgastwechsel (mehr Ein- und Aussteiger). Eine Erhöhung der Fahrgastwechselzeit ist ab einer Fahrzeugauslastung von etwa 65 Personen erkennbar (vgl. Anhang 19). Bei einer Auslastung von mehr als 75 Personen ist der Einfluss noch deutlicher sichtbar. Bereits bei einer Stehplatzdichte von knapp  $2 \text{ P/m}^2$  kommt es zwischen den Aussteigern und den Fahrgästen im Fahrzeug sowie den Einsteigern und den Fahrgästen im Fahrzeug beim Fahrgastwechsel zu Konflikten. Aufgrund der belegten Sitzplätzen und der fehlenden Stehplatzfläche stehen die Fahrgäste zum Teil im Türraum und in den Gängen. Dies versperrt den Ein- und Aussteigern den Weg, was zu einer Erhöhung der Fahrgastwechselzeit führt.

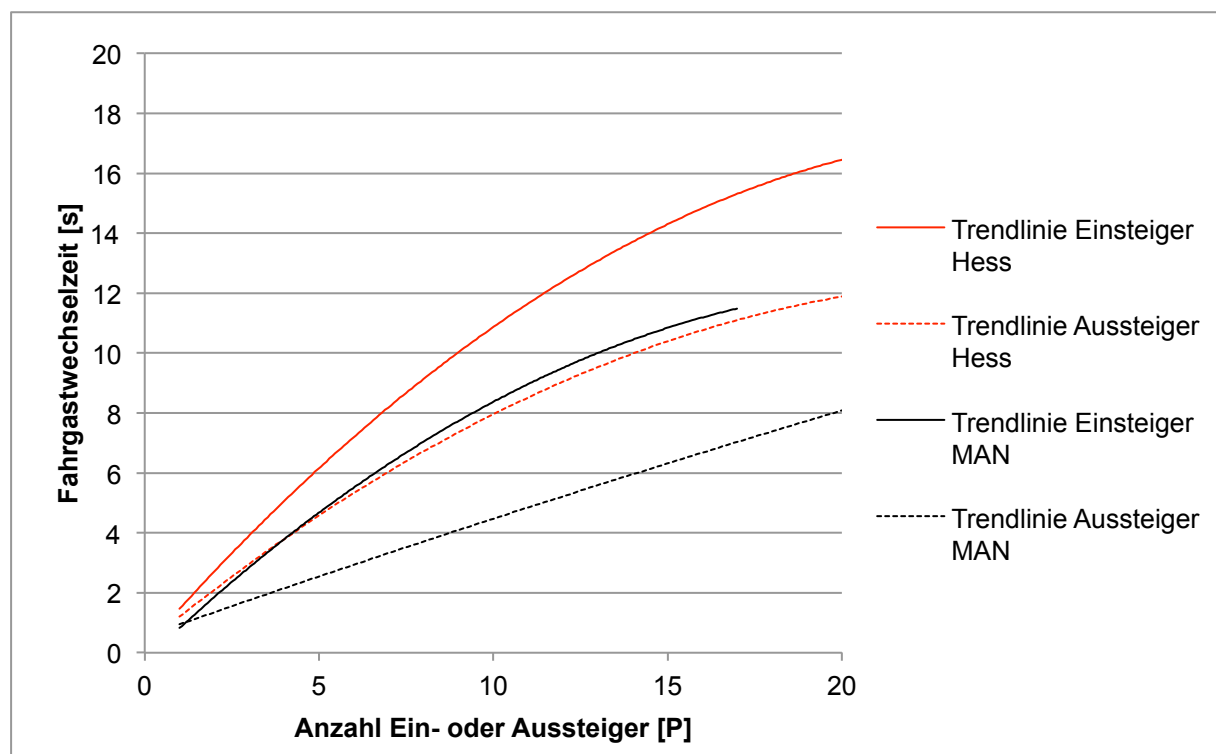
Beim Hess ist die Differenz der Fahrgastwechselzeit zwischen tiefer und hoher Auslastung im Vergleich zum MAN geringer (+9 % vs. +17 %). Die Stehflächen in den beiden Fahrzeugen sind mit ungefähr  $21 \text{ m}^2$  praktisch identisch (vgl. Anhang 3). Ein Grund dafür ist die unterschiedliche Innenraumgestaltung, welche beim Hess im hinteren Bereich viel Stehfläche aufweist und einen guten Zugang zu der dritten Türe ermöglicht. Dadurch stehen beim MAN im kritischen hinteren Bereich (vgl. Kapitel 4.2.5) mehr Fahrgäste im Türraum, was den Fahrgastwechsel gegenüber dem Hess stärker verlangsamt.

Bei den Solaris Modellen sind die Resultate der verschiedenen Bustypen sehr unterschiedlich. Beim Solaris Trollino Nr. 172 sowie den Solaris Urbino Modellen Typ 2 und Typ 3 sind weniger als zehn Messungen mit hoher Fahrzeugauslastung vorhanden. Deswegen sind diese Resultate weniger aussagekräftig als bei den anderen Bustypen und werden nicht interpretiert.

#### 6.1.4.2.4 Unterschied zwischen Ein- und Aussteiger

Laut der multiplen Regression unterscheiden sich die Ein- und Aussteiger in der Fahrgastwechselzeit. Dies wird in Kapitel 3.1.2 (vgl. Tabelle 1) bereits erwähnt. Die Einsteiger benötigen mehr Zeit für den Fahrgastwechsel. Aus diesem Grund werden die Ein- und Aussteiger an den ausgewählten Haltestellen (vgl. Kapitel 4.3) separat untersucht. In Abbildung 25 wird die Fahrgastwechselzeit separat für die Ein- und Aussteiger der Bustypen Hess und MAN dargestellt. Die Darstellung der Fahrgastwechselzeit für die Ein- und Aussteiger der Bustypen Solaris Urbino und Solaris Trollino ist in Anhang 20 zu finden.

Abbildung 25: Untersuchung Fahrgastwechselzeit getrennt für Ein- und Aussteiger bei Hess und MAN



Quelle: Daten Dilax, 01.01.17-11.04.17, ausgewählte Haltestellen (siehe Kapitel 4.3)

Der fünftürige MAN Bus weist sowohl bei den Ein- als auch den Aussteigern die tiefste Fahrgastwechselzeit pro Person auf. Aus der Untersuchung geht weiter hervor, dass der Hess Swisstrolley die kleinsten Differenzen der Fahrgastwechselzeiten zwischen Ein- und Aus-

steigern aufweist. Bei den viertürigen Bussen sind die Fahrgastwechselzeiten der Einsteiger ähnlich (vgl. Anhang 20). Dies zeigt, dass der Hess trotz den schmaleren Türbreiten nicht schlechter abschneidet als die anderen viertürigen Busse. Zudem können sich die Fahrgäste durch den offenen Bereich im hinteren besser im Bus verteilen und bleiben nicht im Türraum stehen (vgl. Kapitel 3.2.2.3, „Standback“). Ein weiterer Grund ist, dass eine Türbreite von 1.2 m zu einer besseren spezifischen Leistungsfähigkeit führt als Türen mit einer Breite von 1.35 m (vgl. Kapitel 6.1.1.1). Bei einer 1.35 m breiten Türe kann es sein, dass mehr Fahrgäste gleichzeitig durch die Türe gehen wollen und sich dadurch gegenseitig behindern. Dies führt zu einer Erhöhung der Fahrgastwechselzeit. In der Literatur sind keine Studien zu Türbreiten von 1.2 m vorhanden, weswegen diese These nicht bestätigt werden kann. Diese Aussage müsste in einer separaten Arbeit untersucht werden. Laut der Doktorarbeit von Weidmann erreichen Türen mit einer Breite von etwa 1.5 m nicht mehr die volle spezifische Leistungsfähigkeit (U. Weidmann, Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr 1994).

Die Fahrgastwechselzeit der Aussteiger ist bei allen viertürigen Modellen ähnlich. Der fünftürige Bus schneidet deutlich besser ab. Dies ist auf die zusätzliche Türe und die kürzere Distanz zur nächsten Türe zurückzuführen (vgl. Einzugsbereiche in Anhang 3).

Die Tabelle mit den ausführlichen Resultaten zur Untersuchung der Fahrgastwechselzeit ist in Anhang 15 zu finden.

#### **6.1.4.3 Erkenntnisse**

Sowohl bei einzelner Betrachtung der Haltestellen, als auch wenn man die Haltestellen zusammenfasst, kann gesagt werden, dass die fünftürigen Busse von MAN die kürzeste Fahrgastwechselzeit pro Person aufweist. Im Vergleich zum Solaris Urbino, welcher die zweitbeste Fahrgastwechselzeiten pro Person aufweist, ist die Wechselzeit pro Person um knapp 18 % tiefer. Bei zunehmender Anzahl Ein- und Aussteiger wird der Unterschied kleiner (vgl. Tabelle 20). Jedoch kann es sein, dass bei Fahrgastwechseln von mehr als 10 Ein- und Aussteigern die Differenzen zwischen den Bussen wieder grösser werden. Die viertürigen Busse schneiden je nach Betrachtung der Haltestellen unterschiedlich ab.

Im Vergleich zu den Literaturwerten in Kapitel 3.1.3.1 (1.7 Sekunden bei Aussteiger, 3.5 Sekunden bei Einsteiger) sind die Fahrgastwechselzeiten pro Person deutlich tiefer. Der Grund kann eine unterschiedliche Messtechnik oder eine Optimierung der Innenraumgestaltung sein.

In Kapitel 6.1.1 wurde die Fahrgastwechselzeit für die unterschiedlichen Bustypen mit einem Literaturansatz berechnet. Das Resultat, dass der Hess um ungefähr 20 % schlechter abschneidet als die anderen viertürigen Busse, können mit den Daten aus dem Fahrgastzählsystem nicht bestätigt werden. Laut dem Fahrgastzählssystem schneidet der Hess Swisstrol-

ley im Vergleich zu den anderen viertürigen Gelenkbussen trotz der deutlich geringeren Summe der Türbreiten ähnlich gut ab. Dies zeigt, dass die Innenraumgestaltung einen erheblichen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit hat. Der Hess weist im hinteren Bereich viel Stehplatzfläche auf, welche selbst bei einer hohen Auslastung des Fahrzeuges und einem grossen Fahrgastwechsel einen guten Zugang zur Türe ermöglicht. Zudem ist der Einfluss der Türbreite nicht so gross wie angenommen. Trotz der 15 Zentimeter schmalere Tür ist keine Leistungseinbusse zu erkennen. Wie bereits in Kapitel 3.1.3.3 beschrieben, weist die breiteste Türe nicht automatisch die höchste Kapazität auf. Dies zeigt sich auch in Kapitel 6.1.1.1, wo das Türsystem des Hess den höchsten Wirkungsgrad aufweist.

Der Einfluss der Fahrzeugauslastung auf die Fahrgastwechselzeit ist eindeutig ersichtlich. Bei hohen Fahrzeugauslastungen erhöhen sich die Fahrgastwechselzeiten signifikant. Dies ist auf die Konflikte zwischen den Ein- bzw. Aussteigern und den sich im Fahrzeug befindenden Fahrgästen zurückzuführen. Die Erhöhung der Fahrgastwechselzeit ist ab einer Fahrzeugauslastung von 65 Fahrgästen erkennbar. Ab Fahrzeugauslastungen von 80 Personen ist eine noch deutlichere Fahrgastwechselzeiterhöhung zu erwarten. Jedoch sind nicht genügend Messungen vorhanden, um diese Aussage zu prüfen.

Da keine türscharfen Daten zur Verfügung stehen, ist nicht klar, wie die Fahrgastverteilung im Fahrzeug aussieht. Je nach Innenraumgestaltung und Haltestelle sind die Ein- und Aussteiger unterschiedlich über die Fahrzeuglänge verteilt. Dieser Faktor wird in Kapitel 6.2 untersucht.

Es geht hervor, dass neben einer fünften Türe insbesondere die Anordnung von Stehplatzfläche einen grossen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit hat. Der Solaris Urbino Typ 2 und der Hess weisen am meisten Stehplatzflächen auf. Durch die zusätzliche Fläche können die Fahrgäste beim Fahrgastwechsel besser zur Türe gelangen und einander ausweichen. Dies ist der Grund, weshalb der Solaris Urbino Typ 2 im Vergleich zu den anderen viertürigen Bustypen tiefere Fahrgastwechselzeiten aufweist und der Hess deutlich besser abschneidet als aufgrund der Literaturansätze erwartet.

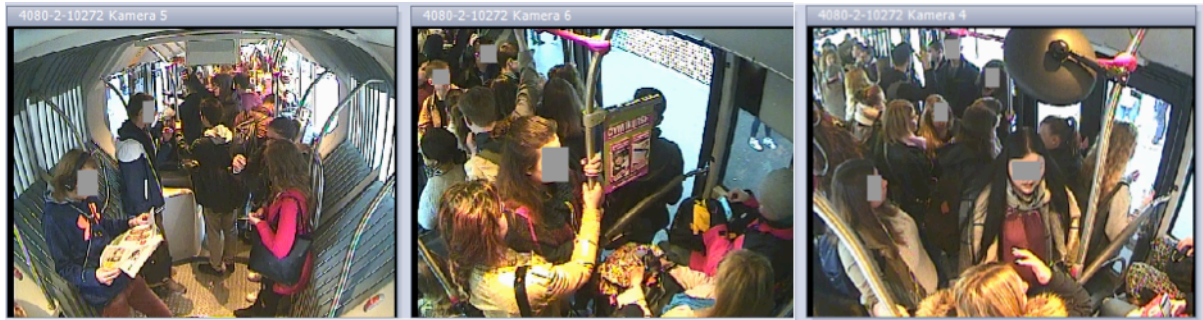
### **6.1.5 Beobachtungen vor Ort**

Wie bereits in Kapitel 5.5.1.4 beschrieben, werden einige Messungen betreffend der Haltezeit vor Ort in Bussen durchgeführt, welche mit einem automatischen Fahrgastzählssystem ausgestattet sind. Für die Beobachtungen vor Ort werden die Busse Nr. 358 (fünfürig, MAN) und Nr. 103 (viertürig, Hess) gewählt (vgl. Kapitel 6.1.3). Mit dieser Untersuchung sollen die Daten aus dem Fahrgastzählssystem und die Haltezeiten der Leitstelle verifiziert werden.

Bei den Beobachtungen vor Ort konnte beim fünftürigen Bus immer wieder festgestellt werden, dass einzelne Fahrgäste zwischen der hinteren Türe und dem Gelenk zwischen den

Sitzplätzen stehen bleiben. Dadurch ist der Durchgang zum Gelenk versperrt und im Türraum treten hohe lokale Dichten auf, während im Gelenk die Personendichten tief sind (vgl. Abbildung 26). In Kapitel 6.2.1 wird diese Situation näher untersucht.

Abbildung 26: Vergleich der Personendichte im Türraum und im Gelenk



Quelle: Videoaufnahmen Stadtbuss Winterthur, 05.05.17, Linie 2, MAN

### 6.1.5.1 Resultate

Die Linien 1, 5 und 7 halten alle an den ausgewählten Haltestellen (vgl. Kapitel 4.3). Die Messungen werden in der HVZ am Morgen durchgeführt, weshalb insbesondere Pendler und Schüler unterwegs sind. Der Bus Nr. 358 wird auf der Linie 7, der Bus Nr. 103 auf der Linie 1 eingesetzt. Auf der Linie 1 und der Linie 7 sind hauptsächlich Pendler unterwegs. Beide Linien sind keine ausgeprägten Schülerlinien. Nur vom Bahnhof bis zur Haltestelle Brühleck (2. Station nach Winterthur HB) sind anteilmässig viele Schüler unterwegs, da bei der Haltestelle Brühleck die Berufsbildungsschule liegt. Die Definition der vor Ort gemessenen Haltezeit ist in Abbildung 15 ersichtlich.

In einem ersten Schritt werden die Haltezeiten aus dem automatischen Fahrgastzählsystem mit den gemessenen Haltezeiten verglichen. Die Resultate sind in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23: Vergleich der Handmessungen mit den Haltezeiten aus dem AFAZ

Bus	Mittelwert Haltezeit Handmessung [s]	Haltezeit AFAZ [s]	Differenz zu Handmessung [%]
Hess Swisstrolley	11.3	20.1	+ 71.5 %
MAN Lion's City	11.4	22.4	+ 96 %

Quelle: Handmessungen vom 04.04.17 (MAN) und 06.04.17 (Hess) und Daten vom AFAZ

Die Resultate in Tabelle 23 zeigen, dass die Haltezeiten, welche im automatischen Fahrgastzählsystem gemessen werden, in der Regel deutlich über der tatsächlichen Haltezeit liegen. Dies liegt an der Messtechnik (vgl. Abbildung 15) und ist plausibel. In Kapitel 6.1.2 konnte jedoch gezeigt werden, dass beim Hess zum Teil Haltezeiten gemessen werden,

welche zu tief sind. Bei der untersuchten Fahrt konnten keine so tiefen Haltezeiten festgestellt werden. Die Haltezeiten müssten trotzdem genauer untersucht werden, falls sie in dieser Arbeit noch verwendet würden.

In einem nächsten Schritt werden die von Hand gemessenen Haltezeiten mit den Haltezeiten der Leitstelle verglichen. Aufgrund der Messtechnik werden die gemessenen Haltezeiten der Leitstelle zu tief geschätzt (vgl. Kapitel 5.5.1.3.2). In Tabelle 24 sind die Durchschnittswerte aus den Beobachtungen vor Ort und den Daten der Leitstelle ersichtlich. Die Messungen der gesamten Fahrt sind in Anhang 14 zu finden.

Tabelle 24: Vergleich der Haltezeiten von der Leitstelle mit Handmessungen

<b>Bus</b>	<b>Mittelwert Haltezeit Handmessung [s]</b>	<b>Haltezeit Leitstelle [s]</b>	<b>Differenz zu Handmessung [%]</b>
Hess Swisstrolley	11.3	10.4	- 7.3 %
MAN Lion's City	11.4	7.6	- 33.7 %

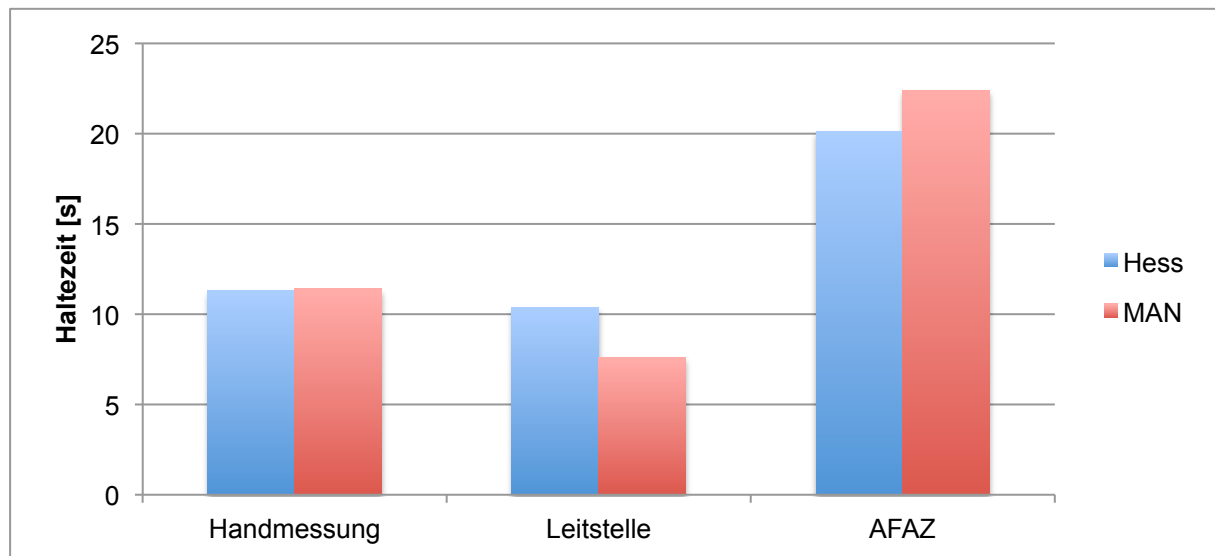
Quelle: Handmessungen vom 04.04.17 (MAN) und 06.04.17 (Hess) und Daten vom AFAZ

Die Resultate zeigen, dass die Handmessungen beim Hess deutlich besser mit den Haltezeiten der Leitstelle übereinstimmen als beim MAN. Beim MAN sind relativ grosse Abweichungen vorhanden. Wie bereits in Kapitel 5.5.1.3.2 erklärt, ist die gemessene Haltezeit von der Türknopfsteuerung und dadurch vom Fahrer abhängig. Es wird davon ausgegangen, dass beim MAN der Fahrer die Türschliessung jeweils durchgehend früher beantragt hat als beim Hess, womit die Unterschiede in der Haltezeit erklärt werden können.

In Abbildung 27 sind die Mittelwerte der untersuchten Fahrten des Hess und MAN graphisch dargestellt. Die Differenzen zwischen den Haltezeiten der Handmessungen und der Leitstelle gegenüber dem automatischen Zählsystem sind deutlich sichtbar.



Abbildung 27: Mittelwerte der verschiedenen Haltezeiten der untersuchten Linien



Quelle: Eigene Darstellung, Daten aus Anhang 14

Als letztes werden die in Kapitel 6.1.4 untersuchten Fahrgastwechselzeiten aus dem automatischen Fahrgastzählssystem mit den Handmessungen verglichen. Dies dient der Plausibilisierung dieser Fahrgastwechselzeiten. Das automatische Fahrgastzählssystem hat die Fahrgastwechselzeiten beim Hess zu Beginn der Fahrt nicht gemessen, deshalb wurden diese Daten bei der Handmessung ebenfalls nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund entspricht der Mittelwert der Handmessung in Tabelle 25 nicht dem Mittelwert in Tabelle 24.

Tabelle 25: Vergleich der gemessenen Haltezeiten mit den Fahrgastwechselzeiten aus dem AFAZ

Bus	Mittelwert Haltezeit Handmessung [s]	Durchschnittl. Fahrgastwechsel an Haltestelle [P]	Fahrgastwechselzeit AFAZ [s]	Differenz zu Handmessung [%]
Hess Swisstrolley	12.4	4.6	4.9	- 60.4 %
MAN Lion's City	11.4	2.6	1.5	- 87 %

Quelle: Handmessungen vom 04.04.17 (MAN) und 06.04.17 (Hess) und Daten vom AFAZ

Beim Vergleich fällt auf, dass die gemessenen Fahrgastwechselzeiten beim Hess höher sind als beim MAN. Dies kann einerseits auf die höhere Anzahl Fahrgastwechsel, andererseits auf die Differenz der Anzahl Türen zurückgeführt werden. In der Handmessung der Haltezeit ist noch die Türöffnungs- und Türschliesszeit enthalten. Zudem dauert es zum Teil nach der

Türöffnung einen Moment, bis der erste Fahrgast aussteigt. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren sind die Fahrgastwechselzeiten aus dem automatischen Fahrgastzählsystem plausibel.

### **6.1.5.2 Erkenntnisse**

Bei den gemessenen Haltezeiten bestätigt sich, wie bereits in Kapitel 6.1.2 beschrieben, dass die vom automatischen Fahrgastzählsystem gemessene Haltezeit beim fünftürigen Bus deutlich zu hoch ist. Sie ist im Schnitt doppelt so gross wie die von Hand gemessene Haltezeit. Dass die Haltezeit aus dem Fahrgastzählsystem höher ist als bei den Handmessungen, ist mit der Messtechnik (vgl. Kapitel 5.5.1.3.1) zu erklären. Wäre die Messtechnik über die Türknopfsteuerung erfolgt, wie dies ursprünglich durch Stadtbuss Winterthur kommuniziert wurde, wären Rückschlüsse auf die Fahrgastwechselzeit möglich gewesen. Mit der Messung über ein Haltestellenfenster sind zu viele Einflussfaktoren involviert, was keinen Rückschluss auf die Fahrgastwechselzeit ermöglicht.

Die gemessenen Haltezeiten weisen ebenfalls Differenzen im Vergleich zu den Haltezeiten der Leitstelle auf. Diese sind hingegen deutlich geringer gegenüber den Haltezeiten des automatischen Fahrgastzählsystems. Die Haltezeiten der Leitstelle sind durchgehend tiefer als die gemessenen Haltezeiten. Dies ist plausibel, da bei den Haltezeiten der Leitstelle die Türschliesszeit nicht in die Messung einfließt (vgl. Abbildung 15). Beim MAN wurde die Türschliessung vom Fahrer auf der ganzen Fahrt deutlich vor Ende des Fahrgastwechsels beantragt. Mit diesen Informationen kann deshalb kein Vergleich zwischen den beiden Bustypen gezogen werden, da jeder Fahrer die Türknopfsteuerung unterschiedlich bedient (vgl. Kapitel 6.1.3.2). Deswegen sind die Aussagen aus der Untersuchung der Fahrgastwechselzeit von grösserer Bedeutung als die Haltezeiten. Die Fahrgastwechselzeit ist exakter und von weniger Faktoren abhängig.

### **6.1.6 Fazit**

Mit den in diesem Kapitel durchgeführten Untersuchungen zur Fahrgastwechselzeit kann eindeutig gezeigt werden, dass sich die zusätzliche fünfte Türe beim MAN positiv auf die Fahrgastwechselzeit auswirkt. Der fünftürige Bus weist im Vergleich zu den viertürigen Modellen durchgehend bessere Fahrgastwechselzeiten auf. Bei den unterschiedlichen viertürigen Modellen können keine eindeutigen Aussagen gemacht werden, allerdings schneidet der Hess in der Untersuchung besser ab, als aufgrund der Überprüfung mit dem Literaturansatz angenommen werden konnte. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Innenraumgestaltung beim Literaturansatz kaum berücksichtigt wird. Zudem sind bei den verschiedenen Solaris Urbino Typen Unterschiede in der Fahrgastwechselzeit zu erkennen. Der Solaris Urbino Typ 2 hat am meisten Stehfläche und schneidet am besten ab.

Bei den viertürigen Modellen zeigt sich mit dem Vergleich der verschiedenen Solaris Modellen, dass die Innenraumgestaltung einen erheblichen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit hat. Genügend Stehfläche in Türnähe begünstigt einen schnellen Fahrgastwechsel. Dadurch können die Fahrgäste, welche nicht aussteigen, zur Seite stehen und stehen weniger im Türraum. Zudem ist beim Hess ersichtlich, dass eine schmalere Türbreite nicht automatisch eine höhere Fahrgastwechselzeit bedeutet.

Die aufgestellte Hypothese, welche sagt, dass die Fahrgastwechselzeit aufgrund der fünften Türe beschleunigt und dadurch die Haltezeit verkürzt werden kann, bestätigt sich mit Hilfe der erhaltenen Daten aus dem automatischen Fahrgastzählsystem nicht. Obwohl die Fahrgastwechselzeit für den MAN beschleunigt wird, kann keine Aussage zur Haltezeit gemacht werden.

Aufgrund der verkürzten Fahrgastwechselzeit beim fünftürigen Gelenkbus, kann erwartet werden, dass die Haltezeit verkürzt werden kann. Die Haltezeit hat allerdings verschiedene weitere Einflussfaktoren. Dazu gehören die Türöffnungs- und Türschliesszeit, die Türfreigabezeit und die Zeitdauer bis die Haltestellenbremse gelöst werden kann (vgl. Abbildung 15). Die Türöffnungs- und Türschliesszeiten sind beim fünftürigen Bus schneller als bei den anderen Modellen (vgl. Tabelle 15). Allerdings gab es bei Stadtbus Winterthur Reklamationen von Fahrern, dass die Haltestellenbremse länger angezogen ist, als bei den viertürigen Modellen.

Die gemessenen Haltezeiten sind abhängig von der Ausführung des Messsystems, weswegen die Resultate der unterschiedlichen Ausführungen nicht miteinander verglichen werden können. Der Ausrüster Dilax untersucht zurzeit die Ergebnisse. Um eine definitive Aussage zur Haltezeit machen zu können, muss die Fehlerquelle bei den gemessenen Haltezeiten eruiert werden. Nur so können die Fahrzeuge direkt miteinander verglichen werden. Beim fünftürigen MAN ist jedoch mit der tieferen Fahrgastwechselzeit im Vergleich zu den viertürigen Modellen eine wichtige Voraussetzung erfüllt, dass die Haltezeit verkürzt werden kann.

Der Einfluss der Innenraumgestaltung wird im nächsten Kapitel vertieft untersucht.

## 6.2 Fahrzeuglayout und -auslastung

*„Ein offener Zugang zum Gelenk im hinteren Bereich des Busses führt zu einer besseren Fahrgastverteilung im Fahrzeug.“*

Für die vertiefte Untersuchung werden der fünftürige Bus von MAN und der viertürige Bus von Hess ausgewählt. Der Grund für die Wahl dieser beiden Bustypen ist in Kapitel 6.1.3 zu finden.

Der untersuchte Kurs führt von Wülflingen via Winterthur Hauptbahnhof zum Bahnhof Seen. Beide Busse fahren wöchentlich versetzt auf der Linie 2 um 6:53 Uhr ab dem Winterthur Hauptbahnhof Richtung Wülflingen. Diese Linie ist unregelmässig ausgelastet. Dadurch kann gut beobachtet werden, ab wann die Fahrgäste das Gelenk betreten und wie sie sich bei einer hohen Fahrzeugauslastung im Bus verteilen. Der Kurs hat den Charakter einer Radiallinie. Um 6:53 Uhr vom Hauptbahnhof nach Wülflingen hat es nur wenige Fahrgäste. Diese belegen praktisch ausschliesslich die Sitzplätze. Ab Wülflingen bis an den Hauptbahnhof steigt die Fahrgastzahl im Fahrzeug Richtung Hauptbahnhof konstant an. Viele dieser Fahrgäste sind Schüler und Schülerinnen, welche in die Gewerbeschule fahren. Die Haltestelle Gewerbeschule liegt nach dem Hauptbahnhof, weshalb die Strecke zwischen dem Hauptbahnhof und der Gewerbeschule am stärksten ausgelastet ist. Am Hauptbahnhof steigen nochmals viele ein. Nach der Haltestelle Gewerbeschule sind im Bus meistens nur noch einige Sitzplätze besetzt. Zwei Haltestellen vor dem Bahnhof Seen steigen jeweils verhältnismässig mehr Fahrgäste als an den vorherigen Haltestellen ein, wodurch zum Teil auch der Gelenkbereich gebraucht wird. Vom Bahnhof Seen zurück an den Hauptbahnhof nimmt die Auslastung wieder stetig zu, wobei insbesondere an der Haltestelle Waldegg (sechste Haltestelle vor dem Hauptbahnhof) verhältnismässig viele Fahrgäste zusteigen.

Im Skript System- und Netzplanung von Weidmann werden Standards bezüglich des Auslastungsgrades festgelegt. Es ist zu entscheiden, ob für die gesamte Nachfrage Sitzplätze angeboten werden. In der HVZ ist dies nicht möglich, weshalb ein Qualitätslevel für die Belegung der Stehplatzflächen fixiert werden muss. Hierfür gilt ein oberer Grenzwert von  $3 \text{ P/m}^2$  (U. Weidmann, System- und Netzplanung 2015). Als Richtwerte für den Bus mit Erschliessungsfunktion gelten die Werte in Tabelle 26.

Tabelle 26: Qualitätsbezogen anrechenbares Platzangebot für die Produktstufe D2

Produktstufe	Kurzcharakterisierung	HVZ	NVZ
D2	Tram, Bus: Erschliessen einer Grossstadt	100% der Sitzplätze, Stehplätze mit $3 \text{ P/m}^2$	80% der Sitzplätze Keine Stehplätze

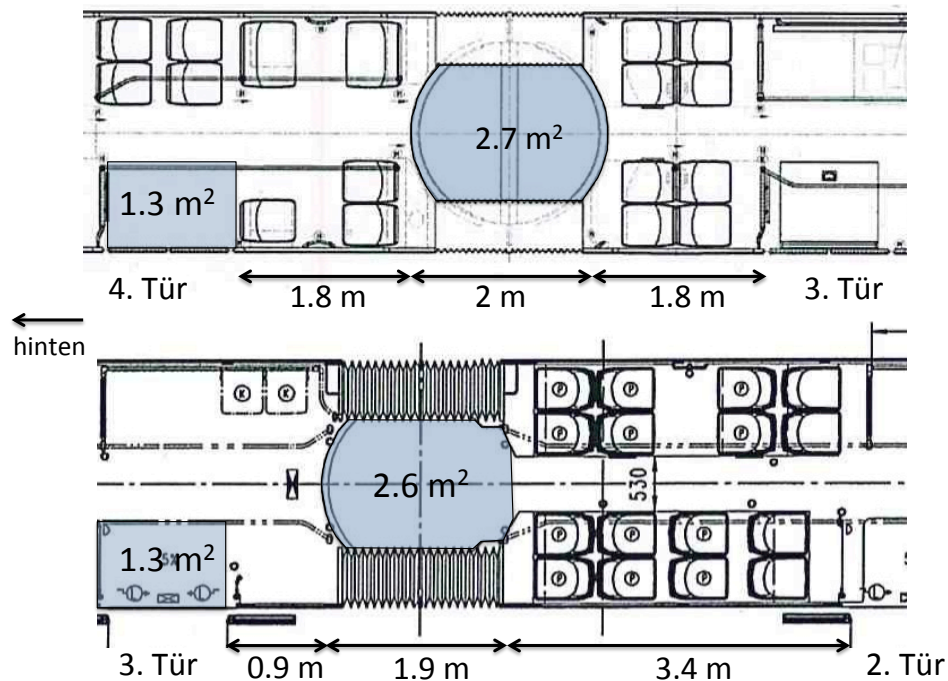
Quelle: (U. Weidmann, System- und Netzplanung 2015), Kap. 3.2.4.7.3, Tabelle 24, Eigene Darstellung

Mit der Untersuchung des Gelenks und den Videoaufnahmen können die Stehplatzdichten über das Fahrzeug abgeschätzt und verglichen werden.

## 6.2.1 Untersuchung des Gelenks

Das Vorgehen der Datenerhebung ist in Kapitel 5.5.2.1 erklärt. Der MAN weist mit  $2.7 \text{ m}^2$  eine leicht grössere Gelenkfläche auf als der Hess mit  $2.6 \text{ m}^2$ . Die Abmessungen des Gelenks und weitere relevante Abmessungen sind in Abbildung 28 dargestellt. In diesem Kapitel sind die Resultate und Erkenntnisse aus den Handmessungen vor Ort dargestellt.

Abbildung 28: Gelenkbereich und Türraum der beiden Bustypen MAN (oben) und Hess (unten)



Quelle: Eigene Darstellung

### 6.2.1.1 Resultate

Pro Tag und Kurs werden 48 Handmessungen pro Fahrt durchgeführt. Über 5 Tage ergibt dies 240 Messungen. Als Nullmessungen werden Messungen klassifiziert, in welchen sich keine Personen im Gelenk aufhalten. Die Anzahl Nullmessungen sind bei beiden Bustypen praktisch identisch.

Tabelle 27: Übersicht Datenerhebung

Anzahl Messwerte	MAN	Hess
Durchgeführte Messungen	240	240
Anzahl Nullmessungen	138	137

Bei der Datenerhebung konnte beobachtet werden, dass sich die Fahrgäste ins Gelenk begeben haben, sobald die meisten Sitzplätze besetzt waren und bereits einige Fahrgäste in der Nähe der Türe gestanden sind. Solange die Fahrzeugauslastung eher tief ist, verhalten sich die Fahrgäste bei beiden Bustypen ähnlich. Deshalb ist das Gelenk ungefähr ab demselben Zeitpunkt belegt. Erst bei höheren Fahrzeugauslastungen sind Unterschiede im Verhalten der Fahrgäste zu erkennen. Durch die Rotation des Gelenks in den Kurven ist der

Stehplatz in diesem Bereich für viele Fahrgäste nicht attraktiv. Im Normalfall wird das Gelenk hauptsächlich von jungen Leuten genutzt.

#### 6.2.1.1.1 Personendichten

Aus den Messungen vor Ort werden die durchschnittlichen und maximalen Personendichten im Gelenk berechnet (vgl. Tabelle 28). Bei der Berechnung der durchschnittlichen Personendichten sind nur die Strecken enthalten, wo effektiv Fahrgäste im Gelenk stehen.

Tabelle 28: Personendichten im Gelenk

Personendichten	MAN	Hess
Totale Anzahl an Fahrgästen im Gelenk [P]	337	369
Durchschnittliche Personendichte im Gelenk [ $P/m^2$ ]	1.2	1.4
Maximale Personendichte im Gelenk [ $P/m^2$ ]	2.6	3.8

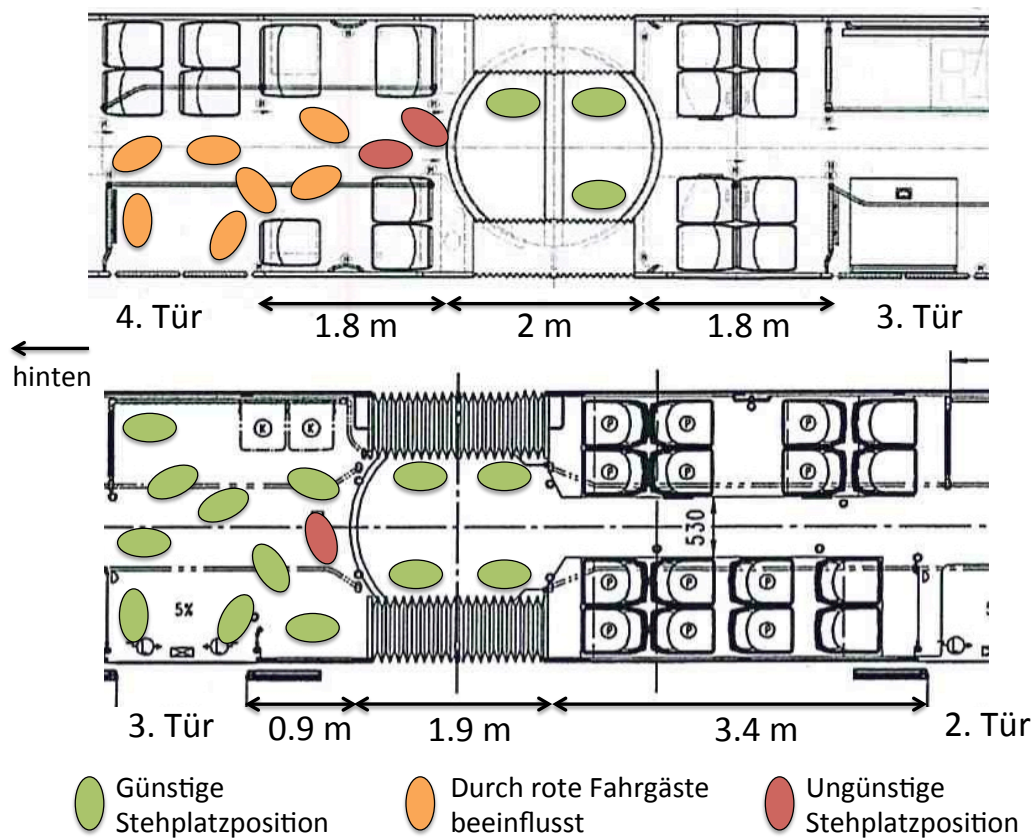
Quelle: Eigene Datenerhebung, Berechnung in Anhang 21

Die Ergebnisse zeigen, dass die Personendichten im Gelenk beim Hess durchschnittlich um  $0.2 P/m^2$  höher sind als beim MAN. Die maximale Personendichte im Gelenk ist im Hess deutlich höher. Beim Hess waren bei der Datenerhebung an einem Tag deutlich weniger Fahrgäste im Fahrzeug als bei den anderen Messungen. Ohne diese Messung wäre die durchschnittliche Personendichte im Hess noch höher.

Die tiefere Personendichte im Gelenk beim MAN kann auf den schmalen Zugang zurückgeführt werden. Durch die Sitzplätze direkt hinter dem Gelenk ist der Zugang beim MAN von hinten oft durch einen Fahrgast versperrt. Der Gelenkzugang ist an der schmalsten Stelle ungefähr 0.73 m breit. Steht ein Fahrgast an dieser schmalen Stelle, ist der Zugang erschwert. Sobald zwei Fahrgäste etwas versetzt stehen, ist er versperrt (vgl. Abbildung 29). Bei den Messungen vor Ort konnte oft beobachtet werden, wie die Personendichte im Türraum beim MAN und direkt daneben hoch war, während die Personendichte im Gelenk eher tief war.

Beim Hess ist der Zugang zum Gelenk in der Regel frei, was zu einer höheren Personendichte in diesem führt. Es hat allerdings daneben viele andere Stehplatzmöglichkeiten, welche von den Fahrgästen bevorzugt werden. Wenn die Stehplätze entlang der Fahrzeugwände besetzt sind, stellen sich Fahrgäste in der Mitte des Fahrzeuges hin. Dadurch kann der Zugang zum Gelenk ebenfalls erschwert werden (vgl. Abbildung 29).

Abbildung 29: Oft eintretende Situation bei hoher Auslastung beim MAN (oben) und Hess (unten)



Quelle: Eigene Darstellung

Die Personendichte im Gelenk ist bei beiden Bustypen tiefer als diese in Türnähe. Der Gelenkbereich beim Hess ist so offen wie nur möglich gestaltet. Durch einen kürzeren Gang vom vorderen Bereich in das Gelenk könnte die Auslastung verbessert werden. Beim MAN kann eine höhere Auslastung durch eine offenere Gelenkgestaltung im hinteren Bereich erreicht werden.

Aus den Untersuchungen vor Ort werden in Tabelle 29 die maximalen Personendichten im gesamten Fahrzeug auf einer bestimmten Strecke der Linie 2 berechnet. Bei beiden Fahrzeugen wird die Strecke zwischen Winterthur Hauptbahnhof und Technikum untersucht, da die Fahrzeugauslastung auf dieser Strecke am höchsten ist. Von den fünf Messungen pro Bus wurde jeweils die Fahrt mit den meisten Fahrgästen im Fahrzeug ausgewählt. Aufgrund des hohen Befüllungsgrades muss die Anzahl Personen mit Hilfe der Videoaufnahmen abgeschätzt werden.

Tabelle 29: Vergleich der Personendichten innerhalb des Fahrzeuges auf der Strecke mit der höchsten Fahrzeugauslastung

	<b>MAN</b>	<b>Hess</b>
Fahrgäste total (Steh- und Sitzplätze inkl. Gelenk)	118	95
Anzahl stehende Personen vorne [P]	48	28
Anzahl stehende Personen hinten [P]	23	24
Stehplatzfläche vorne [m <sup>2</sup> ]	12.9	9.35
Stehplatzfläche hinten [m <sup>2</sup> ]	5.9	9.05
Personendichte vorne [P/m <sup>2</sup> ]	3.72	2.99
Personendichte Gelenk [P/m <sup>2</sup> ]	1.85	2.31
Personendichte hinten [P/m <sup>2</sup> ]	3.89	2.65

Quelle: Datenerhebung vor Ort und Videoaufnahmen von Stadtbus Winterthur

Wegen des grossen Podestbereichs im vorderen Bereich des MAN befinden sich hier deutlich mehr stehende Fahrgäste. Die Personendichte ist im vorderen und hinteren Bereich vergleichbar. Der Zugang zum Gelenk ist schmal, was dazu führt, dass dieser bei einem hohen Personenaufkommen rasch versperrt ist. Deswegen ist im Gelenk die Personendichte vergleichsweise tief. Dies zeigen auch die Videoaufnahmen in Abbildung 26. Im hinteren Bereich beträgt die Personendichte beinahe 4 P/m<sup>2</sup>. Damit sind die in Tabelle 26 aufgeführten Anforderungen nicht erfüllt. Im Gelenk ist die Personendichte nur etwa halb so gross, wie im hinteren Bereich. Dadurch geht einerseits Kapazität im Gelenk verloren, andererseits ist der Komfort in den anderen Bereichen tief. Deswegen ist die Fahrgastverteilung im MAN nicht optimal.

Beim Hess ist die Personendichte im vorderen Bereich am höchsten. Der Wert in Tabelle 29 ist eher etwas zu tief, da angenommen wird, dass sich die Fahrgäste im vorderen Bereich gleichmässig verteilen. Im Normalfall befinden sich jedoch nur zwei bis drei Fahrgäste im Gang, was im Podestbereich rund um die Türe zu einer noch höheren Personendichte führt. Trotzdem verteilen sich die Fahrgäste im Hess gleichmässiger. Dank der offenen Gelenkgestaltung im hinteren Bereich ist die Fahrgastverteilung zwischen dem hinteren und dem vorderen Bereich sowie dem Gelenkbereich deutlich besser und die Personendichte beinahe ausgeglichen.

#### **6.2.1.1.2 Verteilung der Ein- und Aussteiger**

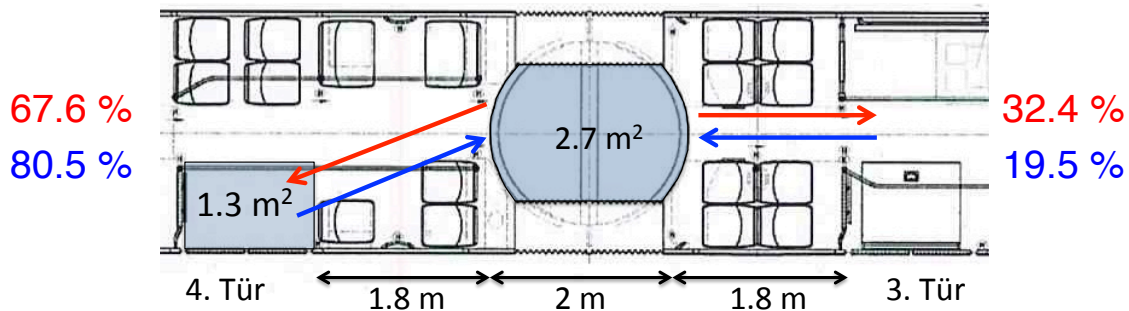
Bei der Datenerhebung wird zusätzlich die Verteilung der Ein- und Aussteiger aus dem Gelenk auf den vorderen (zweite Türe bei Hess respektive dritte Türe bei MAN) und den hinteren Bereich (dritte Türe bei Hess respektive vierte Türe bei MAN) untersucht. Zu berücksich-



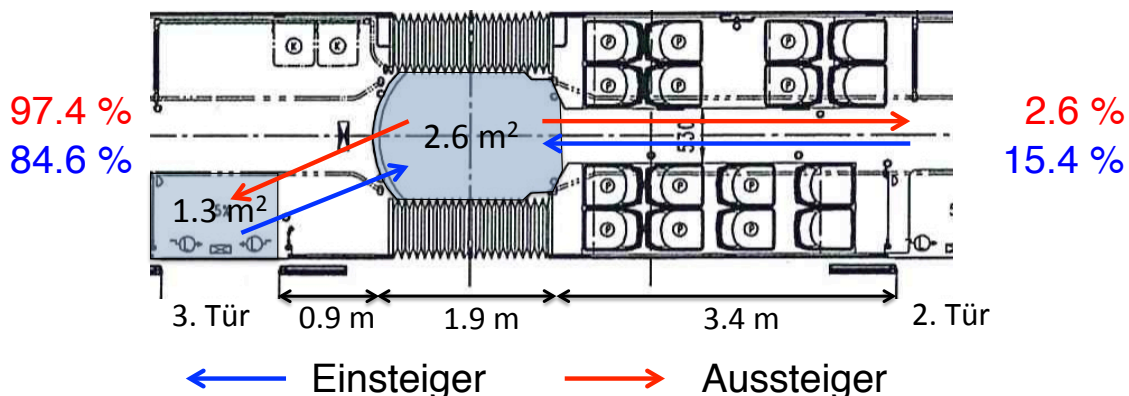
tigen ist, dass es immer wieder Fahrgäste gibt, welche sich vom Gelenkbereich zu frei gewordenen Sitzplätzen begeben. Diese wurden danach nicht weiterverfolgt, sind jedoch in der Auswertung in Anhang 21 markiert. Die Resultate sind in Abbildung 30 dargelegt.

Abbildung 30: Aufteilung der Ein- und Aussteiger auf vorderen und hinteren Bereich beim MAN (oben) und Hess (unten)

MAN (337 Personen in Gelenk):



Hess (369 Personen in Gelenk):



Quelle: Eigene Datenerhebung, Anhang 21

Bei beiden Bussen kommen die meisten Fahrgäste vom hinteren Bereich ins Gelenk. Der Anteil an Einsteigern aus dem vorderen Bereich ist beim MAN jedoch höher. Dies ist etwas überraschend, da der vordere Bereich aufgrund der grossen Podestfläche viele Stehplätze zur Verfügung stellt. Der Gang zum Gelenk ist allerdings deutlich kürzer als beim Hess und der Zugang oft frei, da sich die Fahrgäste im vorderen Bereich besser verteilen können als im Hess. Beim Hess sind im vorderen Bereich viele Sitzplätze angeordnet, welche bei tiefen Auslastungen den Stehplätzen vorgezogen werden. Bei hohen Auslastungen sind die Podestflächen rasch besetzt und der Zugang zum Gelenk wird erschwert.

Beim Hess gibt es praktisch keine Fahrgäste aus dem Gelenk, welche beim Aussteigevorgang die vordere Türe nutzen. Dies hat damit zu tun, dass viele Fahrgäste von den Sitzplätzen, welche zwischen der zweiten Türe und dem Gelenk angeordnet sind, aufstehen und zur vorderen Türe gehen. Dadurch erscheint der Ausstieg vorne umständlicher. Bei grossen

Fahrgastwechseln kann beobachtet werden, dass der Aussteigevorgang an den hinteren Türen länger dauert. Dies wurde bereits in Kapitel 4.2.5 festgestellt.

Im Vergleich zum Hess gibt es beim MAN deutlich mehr Fahrgäste im Gelenk, welche die vordere Tür nutzen. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass im vorderen Bereich des MAN drei Türen zur Verfügung stehen, was den Aussteigevorgang beschleunigt. Andererseits ist der Gang, welcher zum vorderen Bereich und zur dritten Tür führt, kürzer. Entlang des Ganges gibt es weniger Sitzplätze, weswegen sich der Gang schneller entleert. Dadurch entscheiden sich einige Fahrgäste im Gelenk, das Fahrzeug an der vorderen Tür zu verlassen. Jedoch ist dies nur bei grossen Fahrgastwechseln oder bei tiefer Auslastung des Fahrzeuges der Fall. Bei einer hohen Auslastung und nur wenigen Aussteigern wird der Weg zur vorderen Tür weniger benutzt.

Was bei den erhobenen Daten auffällt, ist, dass der Gang im vorderen Bereich beim Hess ungefähr ähnlich oft versperrt ist wie beim MAN, obwohl der Gang deutlich länger ist. Werden jedoch die Anzahl Fahrgäste verglichen, welche vom vorderen Bereich ins Gelenk kommen oder aus dem Gelenk nach vorne kommen, um auszusteigen, zeigt sich, dass der Anteil deutlich tiefer als beim MAN ist (vgl. Abbildung 30). Dies deutet darauf hin, dass die Fahrgastverteilung bei kurzen Gängen stärker ausgeprägt ist als bei Fahrzeugen mit langen Gängen.

#### **6.2.1.1.3 Türräume**

Bei den Messungen im Gelenk wurde zusätzlich die Anzahl Fahrgäste in den Türräumen vor und hinter dem Gelenk gemessen. Damit können die Personendichten berechnet werden, wobei nur die Messungen berücksichtigt werden, wo Fahrgäste im Türraum gestanden sind. Die Türraumdicke nimmt mit zunehmender Auslastung des Fahrzeuges stetig zu. Bei der Beobachtung war es bei hoher Auslastung des Fahrzeuges schwierig, die Anzahl Personen exakt abzuschätzen und den Türraum einzuschränken. Aus diesem Grund wird bei sehr dichter Belegung angenommen, dass fünf Fahrgäste im Türraum stehen (vgl. Tabelle 30).

Tabelle 30: Gemessene Türraumdichten vor und hinter dem Gelenk

<b>Türraum</b>	<b>Kennwerte</b>	<b>MAN</b>	<b>Hess</b>
Türraum vorne (3. Tür MAN, 2. Tür Hess)	Anzahl Fahrgäste im Türraum total [P]	99	156
	Anzahl Messungen mit Personen im Türraum	50	72
	Mittlere Türraumdicke [P/m <sup>2</sup> ]	1.52	1.67
Türraum hinten (4. Tür MAN, 3. Tür Hess)	Anzahl Fahrgäste im Türraum total [P]	152	111
	Anzahl Messungen mit Personen im Türraum	73	52
	Mittlere Türraumdicke [P/m <sup>2</sup> ]	1.60	1.64

Quelle: Eigene Datenerhebung

Beim MAN kann beobachtet werden, dass bei einer hohen Auslastung des Fahrzeugs der Türraum an der vierten Tür für die Fahrgäste deutlich öfters besetzt ist als der Türraum der dritten Tür. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im hinteren Bereich deutlich weniger Stehfläche vorhanden ist und die Fahrgäste sich eher in den Türraum stellen. Im vorderen Bereich ist die Stehfläche deutlich grösser, wodurch sich die Fahrgäste zuerst gegenüber der Tür und zwischen der zweiten und dritten Tür aufstellen können. Deswegen dauert es im vorderen Bereich länger, bis der erste Fahrgast in den Türraum steht (vgl. Tabelle 30).

Der Hess weist an der zweiten und dritten Tür ähnliche Personendichten auf, wobei der Türraum vorne deutlich öfters belegt ist. Dadurch, dass im hinteren Bereich eine grosse Podestfläche zur Verfügung steht und der Gelenkzugang offen gestaltet ist, stehen die Fahrgäste weniger oft im Türraum.

Je offener die Eingangsgestaltung ist, desto tiefer ist die Türraumbelegung. Beim Hess ist der hintere Bereich offen gestaltet, beim MAN der vordere Bereich. In diesen beiden Bereichen stehen den Fahrgästen zahlreiche Optionen zur Verfügung, damit sie sich nicht im Türraum aufstellen müssen. Steht weniger Podestfläche zur Verfügung, stellen sich die Fahrgäste vermehrt im Türraum auf, was den Fahrgastwechsel verlangsamt.

Zwei Messprotokolle und die komplette Auswertung sind in Anhang 21 zu finden.

### 6.2.1.2 Erkenntnisse

Durch die offene Gestaltung hinter dem Gelenk beim Hess, ist die Fahrgastverteilung im hinteren Bereich des Fahrzeugs besser als beim MAN. Beim MAN gibt es in den Stehplatzbereichen rund um die Tür immer wieder hohe lokale Dichten während im Gelenk noch verhältnismässig viel Platz vorhanden ist (vgl. Abbildung 29). Auch beim Hess wird diese Beobachtung gemacht, die Verteilung ist jedoch gleichmässiger (vgl. Tabelle 29). Es ist erkennbar, dass bei beiden Bustypen praktisch gleich viele Nullmessungen aufgetreten sind.

Dies zeigt, dass die Fahrgäste bei tiefen Auslastungen ins Gelenk gehen, egal wie der Zugang gestaltet ist. Jedoch ist der Zugang beim MAN bei einer hohen Auslastung schneller versperrt, weshalb die Fahrgäste nicht mehr ins Gelenk gehen können..

Die Länge des Ganges ist ein wichtiger Faktor für die Verteilung der Fahrgäste. Im MAN gibt es mehr Fahrgäste, welche vom vorderen Bereich in das Gelenk oder den hinteren Bereich des Busses laufen als beim Hess. Dies obwohl beim MAN mehr Stehplatzfläche im vorderen Bereich vorhanden ist. Auch beim Aussteigevorgang gibt es beim MAN mehr Fahrgäste, welche die vorderen Türen benutzen (vgl. Abbildung 30). Ein kurzer Gang zwischen dem Gelenk und dem vorderen Bereich führt zu einer besseren Fahrgastverteilung.

Die akzeptierte Personendichte von  $3 \text{ P/m}^2$  (vgl. Tabelle 28) wird im Gelenk nur beim Hess überschritten. Jedoch sind die lokalen Dichten im vorderen und hinteren Bereich im Hess tiefer als beim MAN. Vor allem im hinteren Türraum treten regelmässig hohe lokale Dichten auf. Allgemein lässt sich sagen, dass sich die Fahrgäste im Hess gleichmässiger verteilen. Dies hat vor allem mit der offenen Gelenkgestaltung im hinteren Bereich zu tun (vgl. Tabelle 29). Eine offene Gelenkgestaltung hat einen grösseren Einfluss auf die Fahrgastverteilung als die Länge der Gänge. Beim MAN treten im hinteren Bereich sehr hohe lokale Dichten auf, während das Gelenk nur schwach besetzt ist.

Die Resultate aus diesem Kapitel zeigen, dass sich das optimale Fahrzeug aus dem vorderen Bereich des fünftürigen Busses von MAN und dem hinteren Teil des Busses von Hess zusammensetzt. Mit einer Kombination der beiden Fahrzeugtypen ergibt sich ein Fahrzeug mit einer Kapazität von 170 Fahrgästen (vgl. Anhang 3). Dies entspricht aufgrund der hohen Anzahl an Stehplätzen (132) einem Hochleistungsbuss.

Mit den durchgeführten Messungen zeigt sich zudem, dass die Annahme aus Kapitel 4.2.5 „die sich im Gelenk befindenden Fahrgäste steigen an den hinteren Türen aus“, stimmt.

## 6.2.2 Auswertung der Videoaufnahmen

Vor Beginn der Untersuchung werden mit Hilfe der Standbilder der Busse MAN und Hess die nicht sichtbaren Sitzplätze definiert. Die Kameraeinstellungen beim Hess sind optimal und es sind alle Sitzplätze zu erkennen. Beim MAN sind die Kameras auf die Türräume fixiert, weswegen einige Sitzplätze nicht erkennbar sind (vgl. Abbildung 30). Deswegen wird jeweils versucht, die einzelnen Fahrgäste beim Einsteigevorgang zu beobachten. Nur so kann eine Aussage gemacht werden, ob diese sich auf einen auf den Videoaufnahmen nicht sichtbaren Sitzplatz setzen. Bei einer hohen Anzahl an Einsteigern besteht das Risiko, dass einzelne Fahrgäste dennoch verpasst werden.

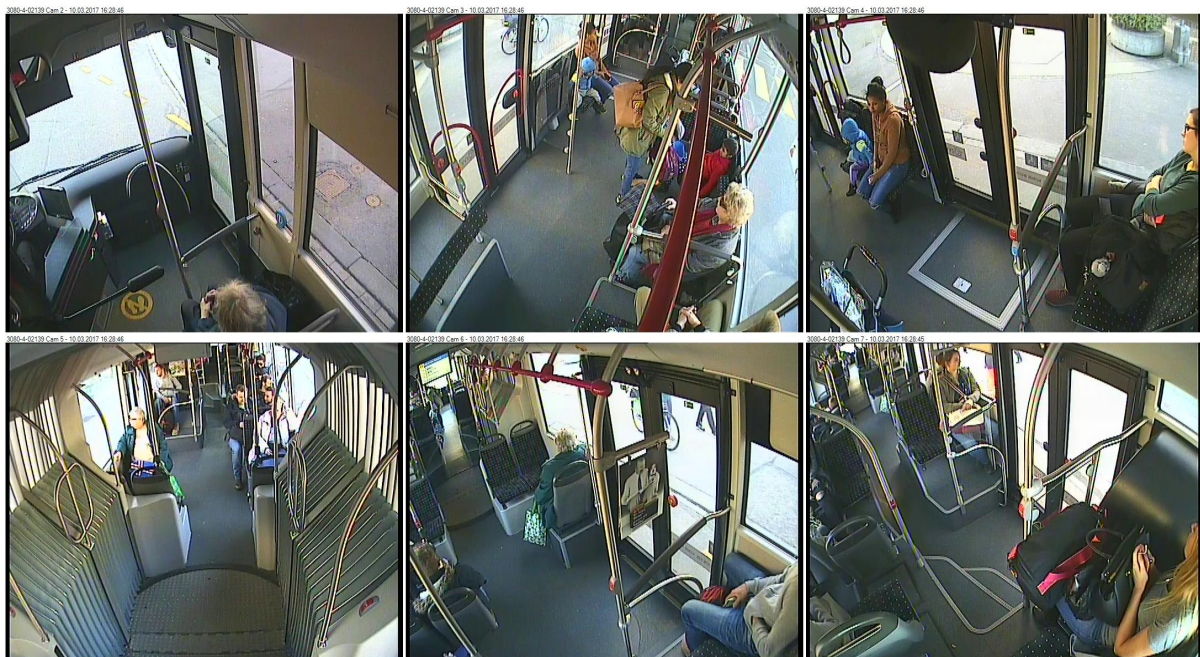
Aufgrund von fehlerhaften Videodateien können nicht dieselben Fahrten wie bei den Messungen im Gelenk ausgewertet werden. Zudem waren die Videokassetten von zwei Fahrten

kaputt und an einem Tag wurde die Videokassette des Busses, welcher um zwei Kurse versetzt fährt, aufbereitet. Nachträglich wurden noch zwei Zusatzfahrten auf demselben Kurs um dieselbe Zeit gemacht, wodurch nun neun Videoaufnahmen desselben Kurses zur Verfügung stehen. Eine Videoaufnahme ist von derselben Linie, jedoch um zwei Kurse versetzt. Bei dieser Fahrt beim Bus von MAN waren weniger Fahrgäste im Bus. Allgemein konnten an den unterschiedlichen Messtagen zum Teil deutliche Abweichungen in der Anzahl der transportierten Fahrgäste festgestellt werden. Zudem sind bei den Videoaufnahmen des Busses von MAN total fünf Streckenabschnitte weniger aufgezeichnet. Insgesamt führt dies dazu, dass beim MAN total weniger Fahrgäste im Bus mitgefahren sind (vgl. Anhang 23).

Bei beiden Bussen können hohe Auslastungen dazu führen, dass einzelne Sitzplätze nicht erkannt werden. In diesem Fall wird jedoch angenommen, dass die nicht sichtbaren Sitzplätze besetzt sind. Die Standbilder der Videokameras des MAN sind in Abbildung 31 dargestellt. Unsichere Auslastungen von Sitzplätzen sind in der Auswertung gekennzeichnet.

Die Nummerierung der Sitzplätze und ein Protokoll pro Bustyp sind in Anhang 22 zu finden.

Abbildung 31: Standbilder der Kameras des MAN Lion's City



Quelle: Stadtbus Winterthur

## 6.2.2.1 Resultate

### 6.2.2.1.1 Befüllungsgrad der Sitzplätze

Dadurch, dass beim MAN nicht alle Sitzplätze sichtbar sind, ist es möglich, dass bei grossen Fahrgastwechseln einige Fahrgäste nicht registriert werden. Bei der Unterscheidung der Fahrzeugauslastung zwischen vorderem und hinterem Bereich wird beim Hess die rückwärtsgerichtete Sitzreihe vor dem Gelenk zum hinteren Bereich gezählt, da die Fahrgäste hauptsächlich vom hinteren Bereich zu diesen Sitzplätzen kommen (vgl. Abbildung 30). Beim MAN wird diese Sitzreihe zum vorderen Bereich gezählt, weil hauptsächlich Fahrgäste aus dem vorderen Bereich diese Sitzplätze nutzen. In Tabelle 31 sind die wichtigsten Kennwerte zum Belegungsgrad dargestellt.

Tabelle 31: Kennwerte zum Befüllungsgrad der Sitzplätze

Kennwerte	MAN	Hess
Durchschnittl. Belegungsgrad Sitzplätze [%]	43.5	45.7
Durchschnittl. Belegungsgrad Sitzplätze vorne [%]	42.4	46.5
Durchschnittl. Belegungsgrad Sitzplätze hinten [%]	44.8	44.7
Durchschnittl. Belegungsgrad vorwärtsgerichtete Sitzplätze [%]	46.4	48.2
Durchschnittl. Belegungsgrad rückwärtsgerichtete Sitzplätze [%]	37.4	40.8
Durchschnittl. Belegungsgrad Fenstersitzplätze [%]	55.5	56.1
Durchschnittl. Belegungsgrad Sitzplätze Gang [%]	33.0	37.6

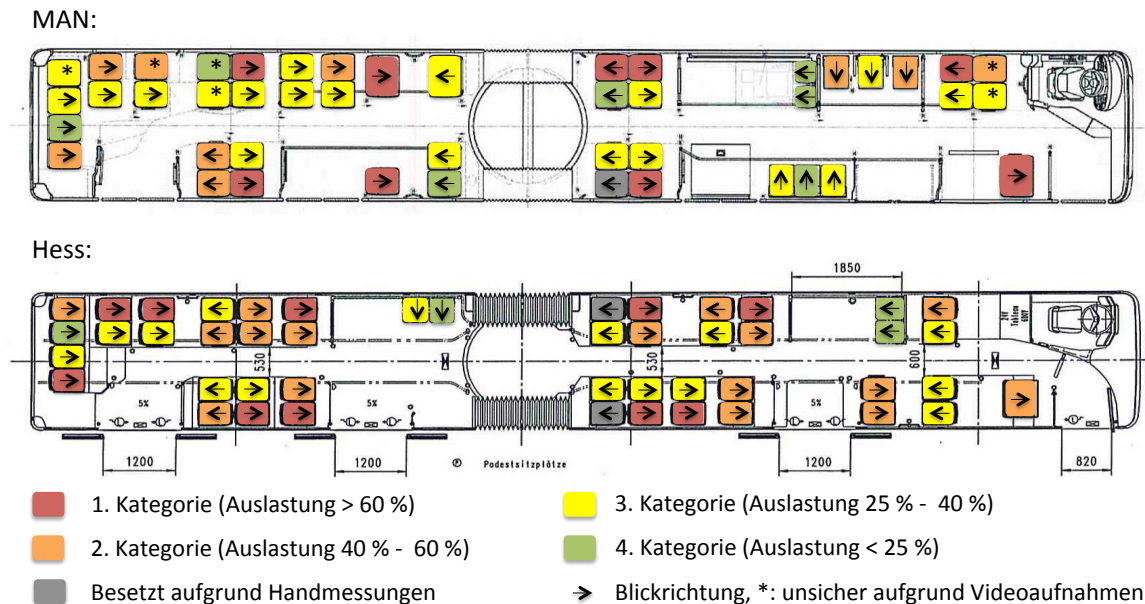
Quelle: Videoauswertung, Anhang 23

Es sind keine Auswirkungen der fünften Türe auf den Befüllungsgrad der Sitzplätze zu erkennen. Die durchschnittliche Auslastung der Sitzplätze ist bei beiden Bustypen ähnlich. Beim MAN ist der Belegungsgrad im hinteren Bereich des Fahrzeuges etwas höher als im vorderen Bereich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im vorderen Bereich ein grösseres Podest zur Verfügung steht, weswegen die Fahrgäste genügend Platz vorfinden, um sich hinzustellen. Beim Hess ist der Befüllungsgrad im vorderen Bereich höher. Der Hess hat im vorderen Bereich wenig Stehplatzfläche. Aus diesem Grund stehen die Fahrgäste erst, wenn die meisten Sitzplätze besetzt sind. Bei einer grossen Stehraumfläche ist es für die Fahrgäste attraktiver sich hinzustellen, auch wenn noch freie Sitzplätze verfügbar sind. Jedoch sind die Unterschiede des Belegungsgrades vorne und hinten gering, weshalb die Resultate nicht vertieft interpretiert werden.



Um eine Aussage zur Attraktivität der einzelnen Sitzplätze machen zu können, sind in Abbildung 32 die Sitzplätze je nach Auslastung in unterschiedliche Kategorien eingeteilt. Dabei ist der durchschnittliche Belegungsgrad über eine ganze Fahrt angegeben.

Abbildung 32: Einteilung der Sitzplätze nach durchschnittlichem Belegungsgrad



Quelle: Eigene Darstellung, Auswertung Anhang 23

In Abbildung 32 ist zu sehen, dass bei den Bussen vor allem die Fenstersitzplätze attraktiv sind. Die vorwärtsgerichteten Sitzplätze werden den rückwärtsgerichteten vorgezogen. Jedoch wird ein rückwärtsgerichteter Fenstersitzplatz einem vorwärtsgerichteten Sitzplatz entlang des Ganges vorgezogen. Das heisst, im Normalfall werden zuerst die Fenstersitzplätze besetzt, bevor sich die Fahrgäste auf die restlichen Sitzplätze setzen. Dieser Ablauf ist unabhängig von den Bustypen.

Zwischen den Fenstersitzplätzen gibt es keine grossen Unterschiede in der Beliebtheit. Meistens setzen sich die Fahrgäste in der Nähe der Tür, an welcher sie eingestiegen sind. Sind die nahen Fenstersitzplätze besetzt, gibt es immer wieder Fahrgäste, welche sich im Fahrzeug einen Fenstersitzplatz suchen, obwohl andere Sitzplätze näher liegen.

Bei den Klappsitzen ist die Belegung deutlich tiefer als bei fix installierten Sitzplätzen. Oft werden die Klappsitze erst genutzt, wenn die restlichen Sitzplätze bereits besetzt sind. Dies führt dazu, dass bei einer hohen Fahrzeugauslastung einige Klappsitze besetzt sind. Dadurch geht Stehplatzfläche verloren, welche ohne Klappsitze effizienter genutzt werden kann. Dies ist vor allem beim MAN erkennbar. Bei diesem Bustyp gibt es für den Fahrer die Option, die Klappsitze bei einer hohen Fahrzeugauslastung zu sperren. Diese Option wird jedoch bisher nicht gebraucht.

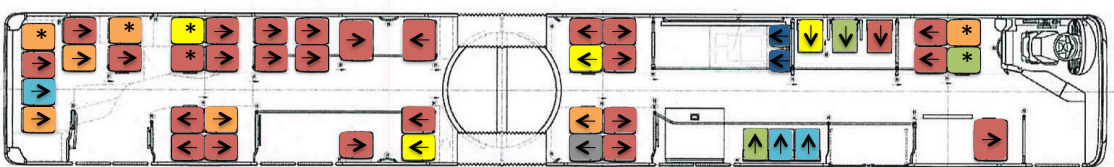
Beim MAN sind im vorderen Bereich weniger Sitzplätze vorhanden, weswegen die Fahrgäste öfters als beim Hess die Klappsitze nutzen. Im vorderen Bereich hat es sechs quer angeordnete und zwei rückwärtsgerichtete Klappsitze. Die quer angeordneten Klappsitze weisen einen höheren Auslastungsgrad auf als die rückwärts angeordneten. Die sechs quer angeordneten Klappsitze sind in zwei Dreierreihen aufgeteilt. Dabei ist erkennbar, dass die Randsitze beliebter sind als die Mittelsitze. Zudem sind die Klappsitze, welche durch eine seitliche Wand abgetrennt sind, besser ausgelastet als die Klappsitze neben der Türe (vgl. Tabelle 31). Im Vergleich zum Hess werden die Klappsitze beim MAN öfters gebraucht. Die Dreierreihe gegenüber der zweiten Türe ist beliebter als diejenige zwischen den Türen.

Beim Hess gibt es im hinteren Bereich entlang der Aussenwand zwei quer angeordnete und zwei rückwärtsgerichtete Klappsitze im vorderen Bereich. Auch hier ist erkennbar, dass die quer angeordneten Klappsitze (entlang der Aussenwand) mehr genutzt werden als die rückwärtsgerichteten Klappsitze. Diejenigen im hinteren Bereich des Hess sind insbesondere für Fahrgäste mit Kinderwagen nützlich, da sich diese dadurch neben den Kinderwagen setzen können.

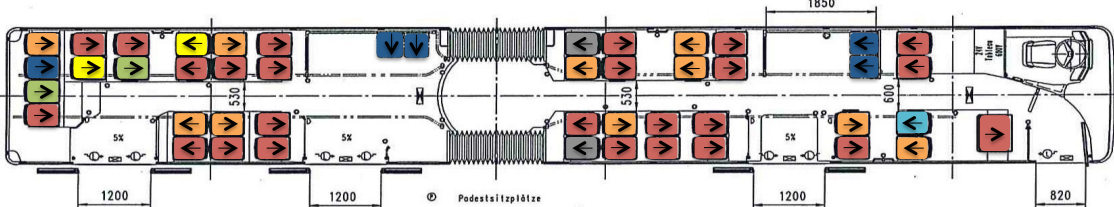
In einem weiteren Schritt wird der Sitzplatzbelegungsgrad bei einer Belegung von mindestens zehn Stehplätzen untersucht. Mit dieser Untersuchung können Sitzplätze eruiert werden, welche aufgrund der Lage und Anordnung im Bus selbst bei hoher Auslastung nicht oder nur wenig genutzt werden. Die Auswertung ist in Anhang 23 zu finden. In Abbildung 33 sind die Resultate dargestellt.

Abbildung 33: Sitzplatzbelegung bei einer Auslastung mit mindestens 10 besetzten Stehplätzen

MAN:



Hess:



- |   |  |
|---|--|
| <span style="color: red;">■</span> 1. Kategorie (Auslastung > 90 %)         | <span style="color: green;">■</span> 4. Kategorie (Auslastung 60 % - 70 %) |
| <span style="color: orange;">■</span> 2. Kategorie (Auslastung 80 % - 90 %) | <span style="color: blue;">■</span> 5. Kategorie (Auslastung 50 % - 60 %)  |
| <span style="color: yellow;">■</span> 3. Kategorie (Auslastung 70 % - 80 %) | <span style="color: darkblue;">■</span> 6. Kategorie (Auslastung < 50 %)   |
| <span style="color: gray;">■</span> Besetzt aufgrund Handmessungen          | ➔ Blickrichtung, *: unsicher aufgrund Videoaufnahmen                       |

Quelle: Eigene Darstellung, Auswertung Anhang 23



Bei einer Auslastung mit mindestens zehn stehenden Fahrgästen sind die Sitzplätze bei beiden Fahrzeugen zu 85 % belegt. Dies entspricht ungefähr einer Belegung von 40 Sitzplätzen. Werden die Klappsitze nicht berücksichtigt, sind beim Hess durchschnittlich 90 % und beim MAN 92 % der Sitzplätze belegt. Ein Einfluss der fünften Türe auf den Sitzplatzbelegungsgrad ist auch bei einer hohen Fahrzeugauslastung nicht erkennbar. Die Klappsitze weisen bei beiden Busmodellen die tiefsten Auslastungen auf. Bei den fix installierten Sitzen fällt auf, dass der rückwärtsgerichtete Fenstersitzplatz im Viererabteil im hinteren Bereich der Busse nicht so stark ausgelastet ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Zugang oftmals erschwert ist, da der Fenstersitzplatz und der rückwärtsgerichtete Sitzplatz am Gang bereits besetzt sind.

Einzelne Sitzplätze in der hintersten Sitzreihe sind ebenfalls nicht attraktiv. Diese Sitze sind nur durch zwei Treppentritte zu erreichen, was für einige Fahrgäste ein Hindernis darstellt. Zudem beanspruchen einzelne bereits sitzende Fahrgäste in dieser Sitzreihe etwas mehr Platz, weswegen der vierte Sitzplatz schmal erscheint und oft nicht gewählt wird. Beim MAN ist der rückwärtsgerichtete Fenstersitzplatz im Dreierabteil vor dem Gelenk ebenfalls nur schwach besetzt. Der Grund ist derselbe wie beim oben beschriebenen Viererabteil. Oft sind die beiden anderen Sitze bereits besetzt, was dazu führt, dass der rückwärtsgerichtete Fenstersitzplatz nicht gut zu erreichen ist.

Der rückwärtsgerichtete Sitzplatz entlang des Ganges im vordersten Viererabteil des Hess ist schwach ausgelastet. In den Videoaufnahmen zeigte sich, dass dieser auf einer Fahrt während langer Zeit nicht belegt wurde. Auf den anderen Fahrten war dieser Sitzplatz praktisch durchgehend belegt, weswegen dieser Sitzplatz trotz Resultat oben als attraktiv erscheint.

#### **6.2.2.1.2 Gesamtbefüllungsgrad**

Wie in Kapitel 6.2.2.1.1 erwähnt, sind die Sitzplätze bei beiden Bussen ähnlich ausgelastet. In diesem Kapitel werden nun die stehenden Fahrgäste miteinbezogen. Zuerst wird der Gesamtbefüllungsgrad über den gesamten Kurs untersucht, bevor ein ausgewählter Streckenabschnitt mit einer hohen Fahrzeugauslastung betrachtet wird.

In Tabelle 32 ist die durchschnittliche Verteilung der Fahrgäste im Fahrzeug dargestellt. Die Werte entsprechen den Mittelwerten über die fünf untersuchten Fahrten. Der Gelenkbereich wird beim Hess zum hinteren Bereich gezählt. Beim MAN wird der Gelenkbereich gemäss dem Aussteigeverhalten in Abbildung 30 auf den vorderen (ein Drittel) und hinteren Bereich (zwei Drittel) aufgeteilt.

Tabelle 32: Durchschnittliche Verteilung der stehenden Fahrgäste im Fahrzeug (pro Strecke)

	<b>MAN</b>	<b>Hess</b>
Stehplatzfläche vorne [m <sup>2</sup> ] (	12.9 (60 %)	9.35 (44.5 %)
Stehplatzfläche hinten [m <sup>2</sup> ]	5.9 (27.4 %)	9.05 (43.1 %)
Stehplatzfläche Gelenk [m <sup>2</sup> ]	2.7 (12.6 %)	2.6 (12.4 %)
Anzahl stehende Fahrgäste vorne [P]	4.22 (54.7 %)	3.14 (42.5 %)
Anzahl stehende Fahrgäste hinten [P]	1.96 (25.9 %)	2.65 (35.9 %)
Anzahl Personen im Gelenk [P]	1.50 (19.4 %)	1.60 (21.6 %)
Anzahl Fahrgäste vorne total [P]	13.68 (49.5 %)	12.52 (43.4 %)
Anzahl Fahrgäste hinten total [P]	13.98 (50.5 %)	16.33 (56.6 %)

Quelle: Videoauswertung, pro Bustyp fünf Fahrten, Anhang 23

Bei beiden Bussen ist erkennbar, dass sich im Gelenk prozentual mehr Fahrgäste befinden als die Stehplatzfläche vermuten lässt. Jedoch täuscht diese Zahl, da die Fahrgäste oft bei tiefen Auslastungen im Gelenk stehen, bei hohen Auslastungen ist die Personendichte tiefer als in den anderen Bereichen des Fahrzeuges (vgl. Tabelle 29).

Beim Hess entspricht die Fahrgastverteilung ungefähr dem Verhältnis der zur Verfügung stehenden Stehplatzfläche, wobei im hinteren Bereich im Vergleich zur Stehfläche eher zu wenig Fahrgäste stehen. Da die Fahrzeugauslastung im Normalfall nicht hoch ist, haben die Fahrgäste in der Regel überall genügend Platz, um sich hinzustellen. Einzelne Streckenabschnitte bilden die Ausnahme. Da die rückwärtsgerichteten Sitzplätze vor dem Gelenk (im vorderen Bereich des Fahrzeuges) beim Hess noch zum hinteren Bereich gezählt werden, ist die totale Anzahl an Fahrgästen im hinteren Bereich des Fahrzeuges deutlich höher. Allerdings ist der Gesamtbefüllungsgrad gleichmässig, da im hinteren Bereich zwei breite Türen zur Verfügung stehen (je 1.2 m), während im vorderen Bereich eine breite und eine schmale Tür installiert sind (1.2 m und 0.82 m).

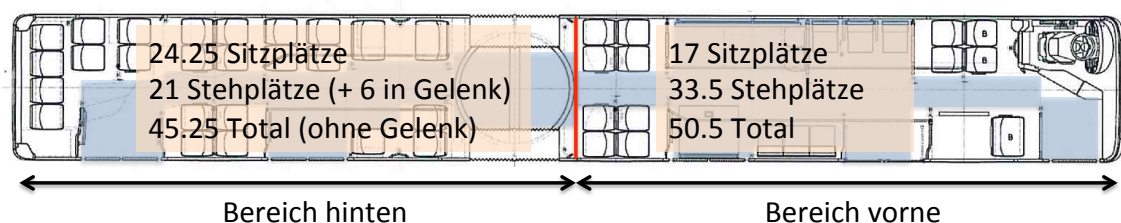
In Tabelle 29 ist erkennbar, dass sich beim MAN aufgrund der zusätzlichen Tür und dem grösseren Podestbereich im vorderen Bereich mehr stehende Fahrgäste befinden. Werden beim MAN die sitzenden und stehenden Fahrgäste im vorderen und hinteren Bereich zusammengezählt, ist die Auslastung jedoch gleichmässig (vgl. Tabelle 32). Dies ist darauf zurückzuführen, dass im hinteren Bereich mehr Sitzplätze vorhanden sind (vgl. Anhang 22) und diese bei einer geringen Fahrzeugauslastung öfters belegt sind als im vorderen (vgl. Tabelle 31). Bei einer hohen Fahrzeugauslastung sind die Sitzplätze im vorderen und hinteren Bereich besetzt. Zudem befinden sich im vorderen Bereich mehr stehende Fahrgäste als im hinteren (Verhältnis ungefähr 3:2, ohne Gelenk), was zu einer stärkeren Auslastung im

vorderen Bereich führt. Um detaillierte Aussagen zum Gesamtbefüllungsgrad machen zu können, wird die Auslastung auf einer stark ausgelasteten Strecke untersucht.

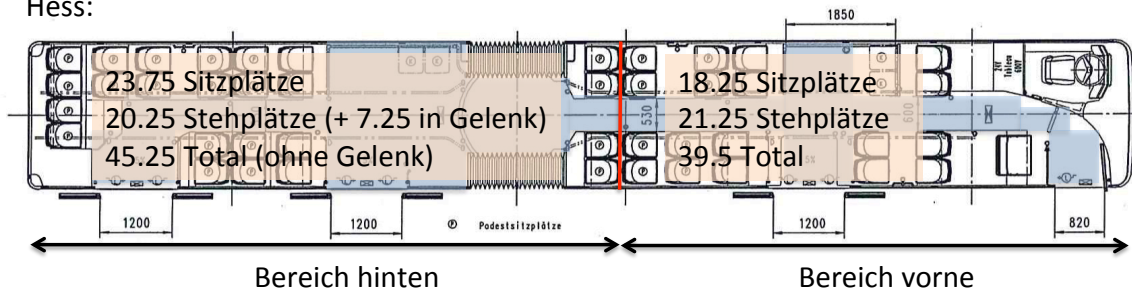
Auf dem untersuchten Kurs ist die Strecke zwischen Winterthur Hauptbahnhof und Technikum am stärksten ausgelastet. In Abbildung 34 sind die Mittelwerte von vier Fahrten dargestellt. Die rote Linie trennt den vorderen und den hinteren Bereich. Die Trennung zwischen dem vorderen und dem hinteren Bereich wurde bereits in Kapitel 6.2.2.1.1 vorgenommen. Je eine Fahrt wurde nicht berücksichtigt, da eine untersuchte Fahrt beim MAN um zwei Kurse versetzt ist und die Werte deutlich tiefer sind.

Abbildung 34: Durchschnittliche Auslastung auf der Strecke Winterthur HB - Technikum

MAN:



Hess:



Quelle: Eigene Datenerhebung, Werte gemittelt über 4 Fahrten (Anhang 23)

Im Vergleich zu Tabelle 32 weist der MAN bei dieser Messung hier nun mehr Fahrgäste auf als der Hess. Ist der MAN stark ausgelastet, befinden sich im vorderen Bereich mehr Fahrgäste. Etwa 60 % der stehenden Fahrgäste befinden sich im vorderen und 40 % im hinteren Bereich. Das Gelenk wird dabei nicht berücksichtigt. Die höhere Auslastung im vorderen Bereich ist auf den grösseren Podestbereich zurückzuführen. Werden die Sitzplätze miteinbezogen, ist die Verteilung ausgeglichener. Die Fahrgastverteilung sollte ungefähr den Türkapazitäten im jeweiligen Bereich entsprechen. Von den Fahrgästen im Gelenk steigen ungefähr ein Drittel an der dritten Türe im vorderen Bereich aus (vgl. Kapitel 6.2.1.1.2). Dies führt zu einer Verteilung der Auslastung von ungefähr 52 % (vorne) zu 48 % (hinten). Um eine gleichmässige Türbelastung zu erreichen sollte der vordere Bereich stärker genutzt werden, damit die Auslastung ungefähr einer Verteilung von 57 % zu 43 % entspricht. Das bedeutet, dass fünf Fahrgäste aus dem hinteren Bereich in den vorderen Bereich wechseln sollten.

Beim Hess befinden sich durchschnittlich ungefähr sechs Fahrgäste mehr im hinteren Bereich des Fahrzeuges als im vorderen. Zudem steigen praktisch alle Fahrgäste im Gelenk bei den hinteren Türen aus. Zu beachten ist, dass die Fahrtüre beim Hess nur 0.82 m breit ist. Deswegen ist die Türleistungsfähigkeit im hinteren Bereich grösser. Unter der Annahme, dass alle Fahrgäste im Gelenk hinten aussteigen, ist die Auslastung im hinteren Bereich im Vergleich zur Türleistungsfähigkeit zu gross. Bei den Messungen vor Ort konnte beobachtet werden, dass einzelne Fahrgäste der rückwärtsgerichteten Sitzreihe vor dem Gelenk bei den vorderen Türen aussteigen. Dadurch ist die Türbelastung gleichmässiger und die Fahrgastwechselzeit kann verkürzt werden.

#### 6.2.2.1.3 Einsteigeverhalten

Um die Personenströme längs im Fahrzeug zu untersuchen, werden in den Videoaufnahmen die Einsteiger aufgezeichnet, welche das Gelenk durchqueren, um sich in den vorderen oder hinteren Bereich zu begeben. Die Fahrgäste, welche vom hinteren Bereich zur rückwärtsgerichteten Sitzreihe vor dem Gelenk gehen, werden dabei nicht berücksichtigt, da diese Sitzreihe nahe an der dritten (Hess) respektive vierten Türe (MAN) liegt. Die Resultate aus der Untersuchung der fünf Fahrten pro Bustyp sind in Tabelle 33 dargestellt.

Tabelle 33: Einsteigeverhalten der Fahrgäste

Anzahl Personen [P]	Hess	MAN
Von vorne nach hinten	12	34
Von hinten nach vorne	43	14
Total	55	48

Quelle: Videoaufnahmen, je fünf untersuchte Fahrten pro Bustyp

Die Anzahl Fahrgäste, welche das Gelenk durchqueren, um sich im Fahrzeug zu verteilen, ist im Vergleich zur total gemessenen Anzahl an Fahrgästen im Fahrzeug (ungefähr 7000 pro Fahrzeug) tief. Die Personenströme längs im Fahrzeug sind nicht besonders ausgeprägt. Trotzdem ist zu erkennen, dass sich beim Hess die Fahrgäste eher von hinten nach vorne begeben, während sie sich beim MAN umgekehrt verhalten. Je nach Haltestelle verteilen sich die Fahrgäste weniger gleichmässig über die Buslänge, was dazu führt, dass viele Fahrgäste an derselben Türe einsteigen und sich danach im Fahrzeug verteilen müssen. Die beiden Busse sind jedoch auf derselben Linie im Einsatz, weshalb ein unterschiedliches Haltestellendesign keinen Einfluss hat.

Beim Hess ist die Aufteilung der Sitzplätze zwischen dem vorderen und dem hinteren Bereich gleichmässig, auch beim Belegungsgrad der Sitzplätze kann kein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Bereichen erkannt werden (vgl. Tabelle 31). Die stärkeren Personenströme von hinten nach vorne sind auf die Innenraumgestaltung zurückzuführen.

Durch die offene Gelenkgestaltung ist der Zugang zum vorderen Bereich oftmals frei. Sind im hinteren Bereich die Sitzplätze besetzt, können die Fahrgäste ohne grossen Aufwand in den vorderen Bereich gehen, um sich einen freien Sitzplatz zu suchen. Die Fahrgäste im vorderen Bereich wechseln kaum in den hinteren Bereich. Der Grund hierfür ist, dass der lange Gang nicht attraktiv für einen Wechsel wirkt. Sind die Sitzplätze entlang des Ganges besetzt und stehen einige Fahrgäste im Gelenk, bleiben die Fahrgäste im vorderen Bereich stehen, da das Fahrzeug voll erscheint. Einzig Fahrgäste, die bewusst im hinteren Bereich aussteigen wollen, wechseln vom vorderen in den hinteren Bereich.

Beim MAN ist erkennbar, dass mehr Fahrgäste vom vorderen in den hinteren Bereich wechseln als umgekehrt. Für diese Beobachtung gibt es zwei Gründe. Erstens steigen aufgrund der dritten Tür mehr Fahrgäste im vorderen Bereich ein. Beim MAN hat es im hinteren Bereich mehr Sitzplätze. Der vordere Bereich weist nur 13 fix installierte Sitze auf, die acht Klappsitze sind bei den Fahrgästen weniger beliebt (vgl. Kapitel 6.2.2.1.1). Die fix installierten Sitzplätze sind rasch besetzt, weswegen sich die Fahrgäste im hinteren Bereich einen Sitzplatz suchen. Zweitens beeinflusst die Innenraumgestaltung das Fahrgastverhalten. Der Gang vom vorderen Bereich zum Gelenk ist kürzer und deshalb attraktiver als beim Hess. Die Fahrgäste, welche im hinteren Bereich einsteigen, wechseln deutlich weniger den Fahrzeugbereich. Im hinteren Bereich haben die Fahrgäste eine grössere Auswahl an Sitzplätzen als im Hess. Sind die Sitzplätze besetzt, ist oft auch der Zugang zum Gelenk versperrt und ein Wechsel in den vorderen Bereich des Fahrzeuges wird umständlich.

### **6.2.2.2 Erkenntnisse**

Für die Datenerhebung wurde versucht, für beide Bustypen möglichst ähnliche Randbedingungen zu schaffen. Die Busse wurden auf derselben Linie und demselben Kurs an denselben Wochentagen eingesetzt. Trotzdem sind deutliche Fluktuationen zwischen den Fahrten zu erkennen, was den direkten Vergleich der Busse erschwert.

Die Resultate aus Kapitel 6.2.2.1.1 zeigen, dass die fünfte Türe keinen wesentlichen Einfluss auf den Sitzplatzbelegungsgrad hat. Der Belegungsgrad der beiden unterschiedlichen Bustypen ist ähnlich und es können keine Unterschiede zwischen dem Belegungsgrad vorne und demjenigen hinten im Fahrzeug festgestellt werden.

Bei tiefen Fahrzeugauslastungen werden die Fenstersitzplätze bevorzugt. Zudem sind die vorwärtsgerichteten Sitzplätze attraktiver als die rückwärtsgerichteten. Allgemein sind die Sitzplätze in Tüرنähe am attraktivsten, da die Fahrgäste beim Aussteigen nur eine kurze Distanz zur nächsten Türe zurücklegen müssen. Klappsitze sind weniger attraktiv als fix installierte Sitzplätze. Jedoch werden die Klappsitze von Fahrgästen mit Kinderwagen geschätzt. Zudem stehen beim MAN im vorderen Bereich wenige Sitzplätze zur Verfügung, weswegen die Klappsitze regelmässig genutzt werden. Die quer angeordneten Klappsitze neben einer Trennwand sind beliebter als mittig angeordnete Klappsitze. Jedoch sind alle quer angeord-

neten Klappsitze beliebter als rückwärtsgerichtete Klappsitze. Aus der Auswertung der Sitzplatzbelegung gehen folgende Attraktivitätsklassen für die Sitzplätze hervor (absteigend):

1. Vorwärtsgerichteter Fenstersitzplatz in Türrnähe
2. Rückwärtsgerichteter Fenstersitzplatz / Vorwärtsgerichteter Fenstersitzplatz nicht in Türrnähe
3. Vorwärtsgerichteter Sitzplatz entlang Gang
4. Rückwärtsgerichteter Sitzplatz entlang Gang
5. Klappsitzplatz quer
6. Klappsitzplatz rückwärts

Die fünfte Türe hat einen indirekten Einfluss auf den Gesamtbefüllungsgrad. Da im vorderen Bereich eine zusätzliche Türe angeordnet ist, stehen weniger Sitzplätze zur Verfügung. Der Podestbereich ist deutlich grösser, was dazu führt, dass bei einer hohen Fahrzeugauslastung mehr Fahrgäste in diesem Bereich stehen. Dadurch ist das Fahrzeug im vorderen Bereich stärker ausgelastet als im hinteren.

Von der Fahrzeugkapazität her gesehen, würde beim MAN ein besserer Gesamtbefüllungsgrad erreicht werden, wenn mehr Fahrgäste vorne einsteigen. Aufgrund der zusätzlichen Türe im vorderen Bereich ist die Leistungsfähigkeit beim Fahrgastwechsel in diesem Bereich grösser. Die Fahrgäste steigen normalerweise an der Türe ein, welche in kürzester Distanz des Warteorts liegt. Um den Gesamtbefüllungsgrad zu verbessern, müssten deshalb im vorderen Bereich der Haltestelle mehr Warteflächen geschaffen werden, damit sich die Fahrgäste entsprechend der Stehplatzfläche des Fahrzeuges an der Haltestelle verteilen. Eine solche Haltestellengestaltung ist nur sinnvoll, wenn keine anderen Bustypen an dieser Haltestelle verkehren (vgl. Kapitel 6.3.2).

Die Personenströme längs im Fahrzeug sind schwach. Im Normalfall bleiben die Fahrgäste in diesem Bereich, wo sie eingestiegen sind. Sind die meisten Sitzplätze besetzt, gibt es einige Fahrgäste, welche den Fahrzeugbereich wechseln, um sich einen Sitzplatz zu suchen. Eine offene Gelenkgestaltung und kurze Gänge führen zu einem etwas höheren Austausch zwischen dem vorderen und dem hinteren Bereich (vgl. Abbildung 30).

### 6.2.3 Fazit

Die zu Beginn des Kapitels 6.2 aufgestellte Hypothese kann bestätigt werden. Die Untersuchung der Personendichten im Gelenk hat gezeigt, dass sich die Fahrgäste bei einem offenen Gelenkzugang besser verteilen und tiefere lokale Dichten auftreten (vgl. Tabelle 29). Bei einem schmalen Zugang zum Gelenk wird dieses deutlich weniger genutzt. Jedoch hat auch die Länge des Ganges einen erheblichen Einfluss auf die Fahrgastverteilung. Lange Gänge werden von den Fahrgästen gemieden. Die Fahrgastverteilung ist schlechter, je länger die Gänge sind. Insbesondere beim Aussteigevorgang werden die langen Gänge gemieden.

Die zusätzliche fünfte Türe beim MAN hat ebenfalls einen Einfluss auf die Fahrgastverteilung. Durch die zusätzliche Türe im vorderen Bereich ist der Gang zwischen diesem und dem Gelenk kürzer, was die Fahrgastverteilung zwischen dem vorderen Bereich und dem Gelenk verbessert. Zudem befinden sich bei einer hohen Fahrzeugauslastung mehr Fahrgäste im vorderen Bereich. Falls sich dieser Bustyp von MAN gegenüber den anderen Bustypen durchsetzt, sollte dies bei der Gestaltung von Haltestellen berücksichtigt werden. Die Fahrgäste sollten sich in diesem Fall nicht mehr möglichst gleichmässig an der Haltestelle verteilen, sondern vermehrt im vorderen Bereich warten. Dadurch kann der Gesamtbefüllungsgrad beim fünftürigen Bus verbessert und der Fahrgastwechsel optimiert werden.

## 6.3 Haltestellendesign

Wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, gibt es zahlreiche Eigenschaften, welche eine Haltestelle charakterisieren. Aufgrund der Randbedingungen aus der Strassenraumgestaltung, den Platzverhältnissen und der Verkehrssituation weichen die Haltestellendesigns stark voneinander ab. Deswegen gibt es keine einheitliche Lösung, was eine gute Haltestelle ausmacht. In diesem Kapitel werden einige der ausgewählten Haltestellen (vgl. Kapitel 4.3) untersucht und miteinander verglichen, um die wichtigsten Gestaltungselemente hervorzuheben. Eine vertiefte Untersuchung der Haltestellendesigns ist aufgrund der fehlenden Zeit in dieser Arbeit nicht möglich. Deswegen wird auf Beobachtungen vor Ort verzichtet, es werden die Diagramme aus Anhang 18 verwendet.

### 6.3.1 Resultate

Aus den Diagrammen ist ersichtlich, dass die Fahrgastwechselzeit pro Person stark von der Anzahl Ein- und Aussteigern abhängig ist. Wie bereits in Kapitel 6.1.4.1 und 6.1.4.2.4 beschrieben, ist die Fahrgastwechselzeit bei den Einsteiger grösser als bei den Aussteigern.

Tabelle 34 zeigt das Verhältnis der Ein- und Aussteiger einiger ausgewählter Haltestellen. Um das Haltestellendesign vergleichen zu können, muss das Verhältnis der Ein- und Aussteiger ähnlich sein, ansonsten sind die Fahrgastwechselzeiten zu unterschiedlich. An den betrachteten Haltestellen in Tabelle 34 fahren alle in dieser Arbeit beschriebenen Bustypen. Aufgrund der fehlenden Zeit werden die einzelnen Bustypen nicht getrennt untersucht.

Tabelle 34: Fahrgastwechselzeit unter Betrachtung der Anzahl Ein- und Aussteiger

<b>Haltestelle</b>	<b>Einsteiger [P]</b>	<b>Aussteiger [P]</b>	<b>Verhältnis Einsteiger zu Aussteiger</b>	<b>Fahrgastwechselzeit pro Person [s/P]</b>
Brühleck stadteinwärts	94'896	40'996	2.31	1.16
Brühleck stadtauswärts	39'985	166'769	0.24	0.76
Schmidgasse stadteinwärts	13'228	464'935	0.03	0.87
Schmidgasse stadtauswärts	403'108	106'105	3.8	1.11
Loki stadteinwärts	291'757	56'995	5.12	1.04
Loki stadtauswärts	73'368	360'356	0.20	0.9
Gaswerk stadteinwärts	323'441	58'031	5.57	0.97
Gaswerk stadtauswärts	52'281	300'032	0.17	0.76

Quelle: Ein- und Aussteigerzahlen aus Anhang 4

Brühleck stadtauswärts, Loki stadtauswärts und Gaswerk stadtauswärts weisen ein ähnliches Verhältnis Einsteiger zu Aussteiger auf. An den drei Haltestellen gibt es deutlich mehr Aussteiger. Die Haltestellen Brühleck stadtauswärts und Gaswerk stadtauswärts haben beide eine lange Haltekante, während die Haltestelle Loki stadtauswärts eine kurze Haltekante aufweist. Aufgrund ihres unterschiedlichen Haltestellendesigns werden die Haltestellen Brühleck stadtauswärts und Loki stadtauswärts miteinander verglichen (vgl. Abbildung 35). Es ist zu erkennen, dass die Fahrgastwechselzeiten pro Person an der Haltestelle Loki stadtauswärts höher sind (5.2 Sekunden vs. 4.2 Sekunden bei fünf Ein- und Aussteigern, Anhang 15). Die Haltestelle Loki stadtauswärts weist eine kurze Haltekante und am Kopf der Haltestelle eine kleine Wartehalle auf. Die Haltestelle Brühleck stadtauswärts hat eine lange Haltekante (Flieskante für mehr als einen Bus) und keine Wartehalle. Das Aussteigeverhalten ist bei beiden Haltestellen identisch. Aufgrund des Haltestellendesigns verhalten sich hingegen die Einsteiger bei Brühleck stadtauswärts und Loki stadtauswärts unterschiedlich. Es wird angenommen, dass sich die Fahrgäste aufgrund der Wartehalle an der Haltestelle Loki am Kopf der Haltestelle aufstellen. Dadurch steigen die Fahrgäste hauptsächlich im



vorderen Bereich des Busses ein. Falls einige Fahrgäste die hinteren Türen nutzen wollen, müssen Sie sich zuerst dorthin begeben, was Zeit benötigt. Im Gegensatz dazu hat die Haltestelle Brühleck stadtauswärts keine Wartehalle und keine Überdachung. Obwohl die Haltekante lang ist, verteilen sich die wartenden Einsteiger besser entlang der Haltekante, was zu einer gleichmässigeren Aufteilung der Einsteiger auf die Bustüren führt. Viele Fahrgäste wissen, dass der Bus im vorderen Bereich der Haltekante hält und stellen sich deshalb eher im vorderen Bereich auf. Diese Aussage bestätigt sich, wenn man die Haltestelle Gaswerk stadtauswärts betrachtet. An dieser Haltestelle entspricht die Fahrgastwechselzeit pro Person ungefähr der Fahrgastwechselzeit an der Haltestelle Brühleck stadtauswärts. Beide Haltestellen haben keine Wartehalle und eine lange Haltekante.

Abbildung 35: Brühleck stadtauswärts (links) und Loki stadtauswärts (rechts)



Quelle: Eigene Aufnahmen

Ein ebenfalls ähnliches Verhältnis zwischen Ein- und Aussteiger haben die Haltestellen Loki stadteinwärts und Gaswerk stadteinwärts. An diesen Haltestellen dominieren die Einsteiger. Die beiden Haltestellen sind ähnlich gestaltet. Die Haltekante entspricht ungefähr der Länge eines Gelenkbusses. Bei der Haltestelle Loki stadteinwärts sind zentral eine Bank und der Fahrkartenautomat angeordnet. An der Haltestelle Gaswerk stadteinwärts gibt es eine kleine Wartehalle, welche ebenfalls zentral angeordnet ist (vgl. Abbildung 36). Die Haltestelle Gaswerk stadteinwärts und die Haltestelle Loki stadteinwärts weisen ähnliche Fahrgastwechselzeiten auf (knapp sechs Sekunden bei fünf Ein- und Aussteigern). Ein Unterschied ist erst bei grösseren Fahrgastwechseln zu erkennen. Bei diesen weist die Haltestelle Gaswerk stadteinwärts kürzere Fahrgastwechselzeiten auf, da die Haltestelle breiter ist und die Aussteiger mehr Platz zur Verfügung haben (9.7 Sekunden vs. 10.4 Sekunden bei zehn Ein- und Aussteigern, Anhang 15). Durch die zusätzliche Breite kommt es zu weniger Konflikten zwischen den Ein- und Aussteigern und Passanten können an der Haltestelle vorbeigehen, ohne den Fahrgastwechsel zu behindern. Die Fahrgastwechselzeit an diesen beiden Haltestellen ist kürzer als an einer Haltestelle mit langer Haltekante und einem ähnlichen Verhältnis Ein- zu Aussteiger (z.B. Schmidgasse stadtauswärts: 11.5 Sekunden bei zehn Ein- und Aus-

steiger). Die Haltekante entspricht ungefähr der Länge des Busses. Deshalb stehen die Fahrgäste beim Halt des Fahrzeuges bereits an der Haltekante am korrekten Ort.

Abbildung 36: Loki stadteinwärts (links) und Gaswerk stadteinwärts (rechts)



Quelle: Eigene Aufnahmen

Die beiden Haltestellen Brühleck stadteinwärts und Schmidgasse stadtauswärts weisen ebenfalls ein ähnliches Verhältnis Ein- zu Aussteiger auf. Die Haltestelle Schmidgasse stadtauswärts weist eine lange Haltekante und eine Wartehalle ganz am Ende (hinter dem Bus) auf. Die Haltestelle Brühleck stadteinwärts hat auch eine lange Haltekante, allerdings ist die Wartehalle in der Mitte der Haltestelle angeordnet. Im vorderen Bereich der Haltestelle hat es zudem eine grosse Wartefläche (vgl. Abbildung 37). Beim Vergleich der einzelnen Busse zeigt sich, dass die viertürigen Busse ähnlich abschneiden. Der fünftürige Bus ist jedoch an der Haltestelle Brühleck deutlich schneller (4 Sekunden vs. 5.2 Sekunden bei fünf Ein- und Aussteigern, Anhang 15). Dies ist auf die Wartebereiche der Haltestellen zurückzuführen. An der Haltestelle Brühleck warten die Fahrgäste hauptsächlich bei der Wartehalle und im vorderen Bereich, während sie an der Haltestelle Schmidgasse im hinteren Bereich bei der Wartehalle stehen. Der MAN hat im vorderen Bereich durch die zusätzliche Türe eine höhere Fahrgastwechselkapazität, wodurch die Fahrgäste an der Haltestelle Brühleck deutlich schneller einsteigen können.

Bei den viertürigen Bussen sollte der Fahrgastwechsel an der Haltestelle Brühleck stadteinwärts aufgrund der zentralen Anordnung der Wartehalle ebenfalls schneller ablaufen. Dies kann mit den untersuchten Daten jedoch nicht festgestellt werden. Es wird vermutet, dass an der Haltestelle Brühleck stadteinwärts viele Fahrgäste im vorderen Bereich warten, da dort eine offen gestaltete Wartefläche vorhanden ist. Deshalb verteilen sich die Fahrgäste nicht gleichmässig auf die Türen. Bei den viertürigen Bussen ist die Türkapazität im vorderen und hinteren Bereich ähnlich, weshalb die Busse an den beiden verglichenen Haltestellen ähnlich abschneiden.

Abbildung 37: Brühleck stadteinwärts (links) und Schmidgasse stadtauswärts (rechts)



Quelle: Eigene Aufnahmen

Der Einfluss des Haltestellendesigns zeigt sich auch, wenn die haltestellenspezifischen Diagramme ausgewertet werden (vgl. Anhang 15). Unter der Annahme eines Fahrgastwechsels von zehn Personen beträgt der Mittelwert über alle Gelenkbusse und betrachteten Haltestellen 8.85 Sekunden mit einer Standardabweichung von 1.24 Sekunden. Die Haltestelle Gaswerk stadtauswärts weist die kürzeste Fahrgastwechselzeit mit 7.61 Sekunden auf, während die Fahrgastwechselzeit an der Haltestelle Brühleck stadteinwärts 11.73 Sekunden beträgt. Dies entspricht einer Abweichung der Fahrgastwechselzeit von 54.1 %. Diese grossen Abweichungen sind einerseits auf das Verhältnis der Ein- und Aussteiger an den einzelnen Haltestellen, andererseits auf das Haltestellendesign zurückzuführen.

### 6.3.2 Erkenntnisse

Lange Haltekanten erhöhen die Fahrgastwechselzeit, da sich die Aussteiger an die Türen der Busse begeben müssen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn sich mehrere Busse gleichzeitig an der Haltestelle befinden. Eine Möglichkeit die Fahrgastwechselzeit zu verkürzen, ist, wenn die Haltekante in verschiedene Abschnitte unterteilt wird. Dadurch sehen die Fahrgäste, in welchem Abschnitt der Bus normalerweise hält.

Um den Fahrgastfluss zu optimieren, muss darauf geachtet werden, dass den Ein- und Aussteigern genügend Freifläche an der Haltestelle zur Verfügung steht. Bäume und Säulen direkt an der Haltekante können den Fahrgastfluss behindern. Sie hindern einerseits die Einsteiger, sich seitlich der Türen aufzustellen, andererseits stehen sie den Aussteigern im Weg. Können sich die Einsteiger nicht seitlich der Türen aufstellen, stehen sie direkt vor der Tür, was den Fahrgastwechsel verzögert und den Fahrgastfluss hemmt.

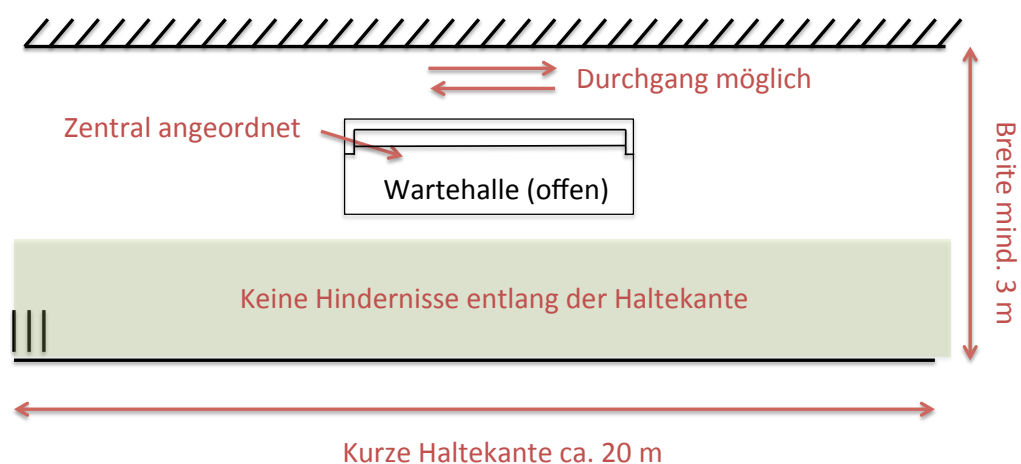
Die Haltestellen sollten zudem genügend breit sein. Eine Haltestelle entlang eines schmalen Trottoirs führt zu Konflikten zwischen den Ein- und Aussteigern, da die Aussteiger keinen Platz vorfinden, um sich von den Bustüren zu entfernen. Dadurch erhöht sich die Fahrgast-



wechselzeit. Je nach Haltestelle gibt es zudem Passanten, welche an der Haltestelle vorbeigehen. Bei einer schmalen Haltestelle führt dies zu zusätzlichen Konflikten. Es ist optimal, wenn Platz hinter dem Wartehaus vorhanden ist, um Passanten den Durchgang zu ermöglichen. Damit werden Konflikte zwischen dem Fahrgastwechsel und den Passanten vermieden.

In Abbildung 38 ist ein geeignetes Haltestellendesign für eine Haltestelle am Fahrbahnrand dargestellt.

Abbildung 38: Geeignetes Haltestellendesign



Quelle: Eigene Darstellung

Der fünftürige und die viertürigen Busse weisen eine unterschiedliche Verteilung der Fahrgastkapazitäten auf. Die viertürigen Busse haben im hinteren Bereich eine höhere Kapazität, während der fünftürige Bus im vorderen Bereich eine höhere Kapazität aufweist (vgl. 4.2.5). Es ist optimal, wenn die Wartebereiche der Haltestelle so verteilt sind, dass sich die Fahrgäste entsprechend der Kapazitäten der Busse aufstellen. Jedoch werden die Haltestellen in der Regel von beiden Bustypen bedient, weswegen eine solche Aufteilung der Wartebereiche nicht möglich ist.

Aufgrund der fehlenden Zeit konnte das Haltestellendesign nur oberflächlich und nicht vor Ort untersucht werden. Aus den Resultaten der untersuchten Haltestellen zeigt sich, dass das Haltestellendesign einen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit hat. Die gewonnenen Erkenntnisse konnten nicht überprüft werden. Eine vertiefte Untersuchung des Haltestellendesigns würde weitere und vertiefte Erkenntnisse mit sich bringen.

## 7 Allgemeine Erkenntnisse und Empfehlungen

### 7.1 Allgemeine Erkenntnisse

Mit dem Vergleich des fünftürigen mit den viertürigen Gelenkbussen konnte gezeigt werden, dass der Einfluss der fünften Türe auf die Fahrgastwechselzeit erheblich ist. Durch die zusätzliche Türe können über 20 % an Fahrgastwechselzeit gegenüber viertürigen Modellen eingespart werden.

Bei der Innenraumgestaltung der Busse ist darauf zu achten, dass bei den Türen ein genügend grosser Podestbereich vorhanden ist. Dies ist vor allem für die stark frequentierten Türen (zweite, dritte und vierte Türe beim fünftürigen, respektive zweite und dritte Türe beim viertürigen Bus) wichtig. Eine grosse Podestfläche führt dazu, dass sich die Fahrgäste nicht im Türraum aufstellen und dadurch die Ein- und Aussteiger nicht behindern.

Um eine möglichst gute Fahrgastverteilung im Bus zu erhalten, ist wichtig, dass der Zugang von hinten zum Gelenk möglichst offen gestaltet ist. Der Zugang kann dadurch nicht durch einzelne Fahrgäste versperrt werden und das Gelenk wird stärker genutzt. Dies führt zu einer gleichmässigeren Fahrgastverteilung im Fahrzeug und hohe lokale Dichten werden abgemindert. In den Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Fahrgäste aus dem vorderen Bereich des Busses das Gelenk nur wenig benutzen. Jedoch begeben sich mehr Fahrgäste ins Gelenk, wenn der Gang zwischen der vorderen Türe und dem Gelenk kurz ist. Ein noch grösserer Einfluss der Ganglänge ist bei den Aussteigern zu erkennen. Bei einem langen Gang wird dieser praktisch gar nicht genutzt, da der Weg zur nächsten Türe weit erscheint.

Um eine kurze Haltezeit zu erreichen, müssen abgesehen von der Fahrgastwechselzeit noch weitere Prozesse optimiert werden. Dazu gehören die Türöffnungs- und die Türschliesszeit sowie die Haltestellenbremse. Diese Optimierung wurden durch eine Softwareaktualisierung beim den fünftürigen Bussen MAN durchgeführt. Mit dem Vergleich der Daten vorher und nachher konnte gezeigt werden, dass dadurch rasch einige Sekunden gespart werden können.

Die beliebtesten Sitzplätze im Bus sind die türnahen Fenstersitzplätze in Fahrtrichtung. Wenn der Fahrgast zwischen einem rückwärtsgerichteten Fenstersitzplatz und einem Sitzplatz am Gang wählen kann, wählt er eher den Fenstersitzplatz. Bei hohen Fahrzeugauslastungen werden zuerst die Sitzplätze belegt, bevor sich die Fahrgäste in die Podestfläche stellen. Eine Ausnahme bilden die Klappsitze, diese werden zum Teil erst bei hohen Auslastungen belegt.

tungen genutzt. Trotzdem sollte auf Klappsitze nicht verzichtet werden, da sie von Fahrgästen mit Kinderwagen genutzt werden.

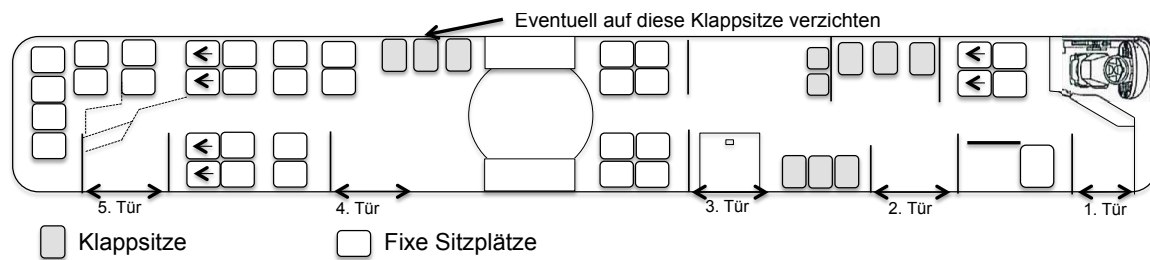
Beim Haltestellendesign spielen die Platzverhältnisse an der Haltestelle eine wichtige Rolle. Dabei muss das Verhältnis der Anzahl Einsteiger zu der Anzahl Aussteiger beachtet werden. In Bezug auf das Haltestellendesign haben verschiedene Faktoren einen Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit. Eine lange Haltekante kann den Einsteigeprozess verlängern, da die Fahrgäste zuerst zu einer Türe gelangen müssen. Entlang der Haltekante sollten keine Hindernisse, wie z.B. Säulen oder Bäume vorgesehen werden. Beim Fahrgastwechsel hat auch die Tiefe der Haltestelle einen Einfluss. Konflikte zwischen den Ein- und Aussteigern können durch genügend Freifläche verhindert werden und dadurch den Fahrgastwechsel beschleunigen. Auch Passanten sollten an der Haltestelle vorbeigehen können, ohne dass der Fahrgastwechsel beeinträchtigt wird.

## 7.2 Empfehlungen

Aus der Untersuchung der Fahrgastwechselzeit, der Innenraumgestaltung und des Haltestellendesigns konnten zahlreiche Erkenntnisse gewonnen werden. Fünftürige Gelenkbusse eignen sich, um eine Reduzierung der Fahrgastwechselzeit zu erreichen. Doch auch mit einer geeigneten Innenraumgestaltung kann der Fahrgastwechsel beschleunigt werden. Um eine Verkürzung der Haltezeit zu erreichen, müssen weitere Einflussfaktoren wie die Türöffnungs- und Türschliesszeit sowie das Lösen der Haltestellenbremse ebenfalls optimiert werden.

Ein wichtiger Punkt ist somit die Innenraumgestaltung des Fahrzeuges. Dabei ist insbesondere auf genügend Stehraumfläche rund um die Türen und einen offenen Gelenkzugang zu achten. Die Gänge sollten möglichst kurz sein, um die Fahrgastverteilung zu verbessern. Durch die Anordnung einer fünften Türe verkürzen sich die Gänge im vorderen Bereich automatisch, was ein positiver Nebeneffekt ist. Ein geeignetes Buslayout ist in Abbildung 39 dargestellt. Im hinteren Bereich könnte allenfalls auf zwei der drei Klappsitze verzichtet werden. Ein Klappsitz muss jedoch für Fahrgäste mit Kinderwagen oder Gehbehinderungen vorhanden sein.

Abbildung 39: Optimales Buslayout für einen Gelenkbus



Quelle: Eigene Darstellung

Die Verteilung der Fahrgäste im Fahrzeug sollte ungefähr der Türverteilung entsprechen. Bei einer ungleichmässigen Verteilung erhöht sich die Fahrgastwechselzeit an einzelnen Türen und der Zeitgewinn durch die fünfte Türe geht verloren.

Weiter muss darauf geachtet werden, dass die Anzahl Sitzplätze nicht zu stark reduziert wird. Das Fahrzeug ist verhältnismässig nur auf kurzen Strecken stark ausgelastet, auf den weniger stark ausgelasteten Strecken sollten für die Fahrgäste noch immer genügend Sitzplätze vorgesehen werden. Ein Teil davon können auch Klappsitze sein, diese müssen jedoch möglichst an den Aussenwänden angeordnet und durch Seitenwände abgetrennt werden. Rückwärts und gegen das Fahrzeuginnere gerichtete Klappsitze sind nicht attraktiv und werden von den Fahrgästen gemieden.

Bei der Gestaltung der Haltestelle sollten zu lange Haltekanten vermieden oder nach Buslinien unterteilt werden. Eine Wartehalle soll möglichst zentral angeordnet werden, damit die Fahrgäste in der Mitte warten und sich rasch entlang des Fahrzeuges aufstellen. Gibt es an einer Haltestelle hauptsächlich Einsteiger, sind ausreichend Warteflächen und deren geeignete Anordnung entscheidend. Die Warteflächen für die Einsteiger sollten analog zur Verteilung der Fahrgastkapazität im Fahrzeug angeordnet werden. Wird die Haltestelle durch unterschiedliche Fahrzeuge bedient, ist ein Kompromiss zu finden oder das Haltestellendesign auf das Fahrzeug auszurichten, welches die Haltestelle am häufigsten bedient.

## 8 Fazit

Die Arbeit war aufgrund der engen Zusammenarbeit mit Stadtbus Winterthur praxisnah und gab interessante Einblicke in das zukünftige Arbeitsumfeld. Die Zusammenarbeit mit Stadtbus Winterthur verlief sehr angenehm. Bei den zur Verfügung gestellten Daten zeigte sich, dass viele Daten erhoben, gewisse aber nur selten verwendet werden. Es traten einige Unklarheiten in Bezug auf die Messtechnik bei einzelnen Werten auf. Bei den erhaltenen Rohdaten muss einiges an Zeit aufgewendet werden, bis die Daten so verwendet werden können, dass konkrete Aussagen möglich sind. Mit den nachträglich von Dilax erhaltenen Daten zur Fahrgastwechselzeit konnten nach den anfänglichen Unklarheiten vertiefte Untersuchungen durchgeführt und neue Erkenntnisse gewonnen werden.

In der Literaturrecherche zeigte sich, dass Studien fehlen, welche die Innenraumgestaltung des Fahrzeuges vertieft untersuchen.

Die Fragen der Aufgabenstellung konnten beantwortet werden. Die Unterschiede zwischen dem fünf- und den viertürigen Bussen wurden trotz fehlenden türscharfen Daten und wenig Literatur erarbeitet. Eine fünfte Tür und eine Innenraumgestaltung mit einem offenen Gelenkzugang wirken sich positiv auf einen schnelleren Fahrgastwechsel aus. Die Zeit, das Haltestellendesign vertieft zu untersuchen, fehlte. Deswegen wurde es nur oberflächlich untersucht. Der Einfluss des Haltestellendesigns auf die Fahrgastwechselzeit konnte jedoch aufgezeigt werden.

In zukünftigen Arbeiten könnte mit türscharfen Daten der Einfluss der fünften Tür und die Fahrgastverteilung in den verschiedenen Gelenkbussen detaillierter untersucht werden. Zudem ist eine vertiefte Analyse zum Haltestellendesign sinnvoll. Dabei sind insbesondere die Fahrgastverteilung an der Haltestelle und der Fahrgastwechsel ausführlicher zu untersuchen.



## 9 Literaturverzeichnis

Boardman, H., und W. Kraft. „Predicting Bus Passenger Service Time.“ *Traffic Engineering*, 1969: 16-20.

Buchmüller, S., U. Weidmann, und A. Nash. „Development of a dwell time calculation model for timetable planning.“ IVT ETH Zürich, Zürich, 2008.

Bundesamt für Statistik. [www.bfs.admin.ch](http://www.bfs.admin.ch). 2017. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/geburtentodesfaelle/todesfaelle-sterblichkeit-lebenserwartung.html> (Zugriff am 07. März 2017).

Currie, G., A. Delbosc, S. Harrison, und M. Sarvi. „Impact of Crowding on Streetcar Dwell Time.“ *Transportation Research Record*, 2013.

Der Bundesrat. [www.admin.ch](http://www.admin.ch). 15. Januar 2017. <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19620246/index.html> (Zugriff am 07. März 2017).

Dorbritz, R., M. Lüthi, U. Weidmann, und A. Nash. „Effects of Onboard Ticket Sales on Public Transport Reliability.“ Zürich, 2009.

Dreyfuss, H. *The Measure of Man - Human Factors in Design*. New York: Whitney Library of Design, 1967.

Dueker, K., T. Kimpel, und G. Strathman. „Determinants of Bus Dwell Time.“ Portland State University, Portland, 2004.

Elleuch, Fatma, Stéphanie Donnet, Axel Buendia, und Charles Tijus. „Comment maîtriser le temps d'arrêt d'un train en gare.“ *Revue générale des chemins de fer*, Februar 2017.

Fernandez, R., A. Valencia, und S. Seriani. „On passenger saturation flow in public transport doors.“ *Transportation Research Records*, 2015.

Fernandez, R., J. Gibson, und M. Méndez. „Modelacion del Comportamiento en Paraderos Formales.“ *Congreso Chileno de Ingenieria de Transporte*. Santiago de Chile, 1995. 358-368.

Fernandez, R., P. Zegers, G. Weber, und N. Tyler. „Influence of Platform Height, Door Width and Fare Collection on Bus Dwell Time.“ Universidad de los Andes, Santiago de Chile, 2010.

Glismeyer, H. *Handbuch Städtischer Verkehr*. Berlin: Verlag transpress, 1974.

Hüssner, Karl Friedrich. „Telefonat mit Herr Hüssner von Dilax.“ Zürich, 13. April 2017.

Kraft, W., und T. Bergen. „Evaluation of passenger service times for street transit systems.“ *Transportation Research Record*, 1974.

Lanz, R., A. Renard, und L. Ebinger. „Dimensionierung der Fussgängerflächen von Haltestellen des strassengebundenen öffentlichen Verkehrs.“ Forschungsauftrag VSS1998/187, B+S Ingenieur AG, Bern, Bern, 2005.

Lehnhoff, Nicola, und Solveigh Janssen. „Untersuchung und Optimierung der Fahrgastwechselzeit.“ Institut für Verkehrswirtschaft, Universität Hannover, Hannover, 2003.

Leiner, A. „Möglichkeiten zur Beschleunigung des Fahrgastwechsels bei öffentlichen Verkehrsmitteln.“ Diplomarbeit, Institut für Eisenbahn- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart, Stuttgart, 1983.

Levinson, Herbert S. „Analyzing transit travel time performance.“ *Transportation Research Record*, Nr. 915 (1983): 1-6.

MAN Truck & Bus AG. „<https://www.mantruckandbus.com>.“ *Lion's City GL*. 2017. <http://www.bus.man.eu/de/de/stadtbusse/man-lions-city/uebersicht/Uebersicht.html> (Zugriff am 07. März 2017).

Nef, Ernst, Interview geführt von Marco Binswanger. *Abwarten von Verfrühungen an Haltestellen, Korrespondenz E-Mail* (21. 03 2017).

Planungsgesellschaft Ruhr. „Untersuchung über die Mitnahme von Gepäck im Nahverkehr (im Fahrzeug und an Übergangs- und Umsteigestellen).“ *Forschung Stadtverkehr*, November 1970: 32-34.

Q. Neg, X. Qu. „Bs dwell time estimation at bus bays: A probabilistic approach.“ University of Singapore, Singapore, 2013.

Rüger, B. „Beförderungs- und Betriebsqualität im Personenfernverkehr - Optimierungspotentiale beim Reisewagenbau.“ Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen, Technische Universität Wien, Wien, 2007.

Rüger, Bernhard. „Einfluss von Reisegepäck auf die Fahrgastwechselzeit.“ TU Wien, Wien, 2004.

Rexfelt, O., T. Schelenz, M. Karlsson, und A. Suescun. „Evaluating the effects of bus design on passenger flow.“ University of Technology, Göteborg, Göteborg, 2014.

Schelenz, T., A. Suescun, L. Wikström, und M. Karlsson. „Application of agent based simulation for evaluating a bus layout design from passenger's perspective.“ *Transportation Research Record*, 2014: 222-229.

Schweizerische Eidgenossenschaft. [www.admin.ch](http://www.admin.ch). 15. Januar 2017. <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19620246/index.html> (Zugriff am 07. März 2017).

Stadt Winterthur. *Stadtbus Winterthur*. 14. 03 2017. [www.stadtbus.winterthur.ch](http://www.stadtbus.winterthur.ch) (Zugriff am 14. 03 2017).

Stadtbus Winterthur. „Fahrzeuginventar 2016.“ Winterthur, 2016.

Stadtbus Winterthur. „Geschäftsbericht 2015.“ Geschäftsbericht, Winterthur, 2015.

Stadtbus Winterthur. „Von der Vision über die Strategie zum Alltag.“ Winterthur, 2013.

Sun, L., A. Tirachini, K.W. Axhausen, A. Erath, und D. Lee. „Models of bus boarding and alighting dynamics.“ *Transportation Research Record*, 2013.

Thoreau, R., C. Holloway, G. Bansal, K. Gharatya, T. Roan, und N. Tyler. „Train design features affecting boarding and alighting of passengers.“ *Journal of advanced Transportation*, 2017.

Universität Zürich. „Universität Zürich.“ *Methodenberatung: Multiple Regressionsanalyse*. 22. 03 2017. <http://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse/zusammenhaenge/mreg.html>.

Wang, C. „Modeling Bus Dwell Time and Time Lost Serving Stop in China.“ *Journal of Public Transportation*, 2016.

Weidmann, Ulrich. „Der Fahrgastwechsel im öffentlichen Personenverkehr.“ Dissertation, IVT ETH Zürich, Zürich, 1994.

Weidmann, Ulrich. *Grundlagen zur Berechnung der Fahrgastwechselzeit*. IVT ETH Zürich, Zürich: Schriftenreihe des IVT Nr. 106, 1995.

Weidmann, Ulrich. „System- und Netzplanung.“ Zürich, 2015.

Weidmann, Ulrich. „Systemdimensionierung und Kapazität, Band 2.1.“ Lehrstuhl für Verkehrssysteme, ETH Zürich, Zürich, 2011a.

Weidmann, Ulrich, Robert Dorbritz, Hermann Orth, Milena Scherer, und Peter Spacek. „Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen.“ Forschungsauftrag SVI

2004/039 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI), Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), Zürich, 2011b.

Zografos, Konstantinos, und Herbert Levinson. „Passenger Service Times for a No-Fare Bus System.“ *Transportation Research Record*, 1986: 42-48.